

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV FYZIKÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ CHEMIE

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF PHYSICAL AND APPLIED CHEMISTRY

STUDIUM SVĚTLOSTÁLOSTI BAREVNÝCH FOTOGRAFIÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. EVA ŠTĚPÁNKOVÁ

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ  
ÚSTAV FYZIKÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ CHEMIE  
FACULTY OF CHEMISTRY  
INSTITUTE OF PHYSICAL AND APPLIED CHEMISTRY

# STUDIUM SVĚTLOSTÁLOSTI BAREVNÝCH FOTOGRAFIÍ

A STUDY ON THE LIGHTFASTNESS OF COLOR PRINTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. EVA ŠTĚPÁNKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PETR DZIK, Ph.D.

BRNO 2010



Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta chemická**  
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

## Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce:	<b>FCH-DIP0426/2009</b>	Akademický rok: <b>2009/2010</b>
Ústav:	Ústav fyzikální a spotřební chemie	
Student(ka):	<b>Bc. Eva Štěpánková</b>	
Studijní program:	Spotřební chemie (N2806)	
Studijní obor:	Spotřební chemie (2806T002)	
Vedoucí práce	<b>Ing. Petr Dzik, Ph.D.</b>	
Konzultanti:		

### Název diplomové práce:

Studium světlostálosti barevných fotografií

### Zadání diplomové práce:

- 1) Vypracujte literární rešersi na téma hodnocení světlostálosti barevných fotografií.
- 2) Prostudujte světlostálost barevných fotografií při dlouhodobém testu.
- 3) Prostudujte světlostálost barevných fotografií metodami zrychleného stárnutí.

### Termín odevzdání diplomové práce: 14.5.2010

Diplomová práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu diplomové práce. Toto zadání je přílohou diplomové práce.

-----  
Bc. Eva Štěpánková  
Student(ka)

-----  
Ing. Petr Dzik, Ph.D.  
Vedoucí práce

-----  
prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.  
Ředitel ústavu

V Brně, dne 1.12.2009

-----  
prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Práce podává přehled o dostupných a využívaných metodách, normách a předpisech pro testování a hodnocení světlostálosti barevných fotografií a tisků. Bylo provedeno porovnání jednotlivých platných norem a návrhů na hodnocení.

Testovaný soubor vzorků byl zhotoven různými fotografickými procesy a tiskovými technikami. Vzorky byly podrobeny dlouhodobému a urychlenému testu světlostálosti. Pro rychlost blednutí vzorků byla v této práci vyjádřena jako formální rychlostní konstanta získaná z úbytku normalizovaného objemu gamutu v závislosti na osvitu. Na základě vypočtených životností vzorků bylo provedeno porovnání materiálů mezi sebou. Dále bylo pozorováno selhání recipročního zákona u urychleného testu, což naznačuje omezenou věrohodnost odhadu životnosti předpovídané na základě zrychlených testů.

Klíčová slova: urychlené stárnutí, barvový gamut, světlostálost, barevná fotografie

## **ABSTRACT**

This paper gives a brief overview on the published and accepted standards and methods for colour photography and print lightfastness measuring and evaluating. A comparison of selected valid standards and evaluation suggestions has been made.

Sample sets was produced by various photographic processes and printing techniques. Identical sample sets were used in both long-term and accelerated ageing experiment. In this thesis, the degradation speed is expressed as a formal rate constant, which was calculated from the dependence of normalized gamut volume on the exposure dose. Photographs and prints were compared on calculated lifetime basis. A failure of reciprocity law was observed, which indicates a lower credibility of estimated lifetime predictions based on accelerated ageing.

Key words: accelerated ageing, colour gamut, lightfastness, colour photography

ŠTĚPÁNKOVÁ, E. *Studium světlostálosti barevných fotografií*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2010. 86 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Dzik, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje byly správně a úplně citované. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....  
podpis studenta

### *Poděkování:*

*Chtěla bych poděkovat, Ing. Petru Dzikovi, Ph.D., doc. Ing. Michalu Veselému, CSc. a Ing. Jiřímu Stančíkovi za jejich vstřícnost, čas a cenné rady. Dále bych chtěla poděkovat všem, kteří se mnou sdíleli svoje zkušenosti a bez kterých by tato práce nemohla vzniknout.*

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>7</b>
<b>2 CÍL PRÁCE .....</b>	<b>7</b>
<b>3 TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Experimentální metody používané při hodnocení světlostálosti .....</b>	<b>8</b>
3.1.1 Radiometrie .....	8
3.1.2 Denzitometrie .....	10
3.1.3 Kolorimetrie .....	10
<b>3.2 Obecný princip hodnocení světlostálosti.....</b>	<b>14</b>
3.2.1 Testovací škály .....	14
3.2.2 Záření, světelné zdroje, způsoby a podmínky expozice .....	15
3.2.3 Metody pro sledování změn .....	16
3.2.4 Předpověď životnosti, reciproční zákon .....	16
<b>3.3 Přehled platných norem pro testování světlostálosti .....</b>	<b>17</b>
3.3.1 ISO 12040 – Grafické technologie, tisk a tiskové inkousty .....	17
3.3.2 EN 61610 – Elektronické transparentní a netransparentní obrazy .....	18
3.3.3 ISO 18909 – Fotografické materiály – Metody měření obrazové kvality .....	19
3.3.4 JEITA standard .....	20
<b>3.4 Návrhy na hodnocení obrazů zhotovených digitálními technologiemi .....</b>	<b>21</b>
3.4.1 WIR sada kritérií 3.0 .....	21
3.4.2 WIR sada kritérií 4.0 .....	23
3.4.3 Návrh kolorimetrického hodnocení světlostálosti podle WIR .....	24
3.4.4 WIR Retained Image Appearance metric .....	25
3.4.5 Kritéria určená k hodnocení obrazu a jejich stanovení .....	27
3.4.6 Možnosti využití Správy barev pro hodnocení světlostálosti.....	29
<b>4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Přehled použitých materiálů a principů tvorby obrazové informace .....</b>	<b>33</b>
4.1.1 Klasické „mokré“ procesy .....	33
4.1.2 Speciální procesy .....	33
4.1.3 Inkjet.....	34
<b>4.2 Použitá zařízení .....</b>	<b>35</b>
4.2.1 Zařízení a vybavení laboratoře .....	35
4.2.2 Použitý software .....	35
<b>4.3 Popis experimentu.....</b>	<b>35</b>
<b>4.4 Typy testů .....</b>	<b>36</b>
<b>4.5 Měření vzorků .....</b>	<b>38</b>
<b>5 VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>	<b>47</b>

<b>5.1 Urychlený test světlostálosti .....</b>	<b>47</b>
5.1.1 Spotřebitelský inkjet.....	47
5.1.2 Profesionální inkjet.....	50
5.1.3 Spotřebitelské minilaby .....	54
5.1.4 Profesionální konečné zpracování .....	58
5.1.5 Speciální procesy .....	62
<b>5.2 Chodbová expozice.....</b>	<b>63</b>
5.2.1 Spotřebitelský inkjet.....	63
5.2.2 Profesionální inkjet.....	66
5.2.3 Spotřebitelské minilaby .....	70
5.2.4 Profesionální konečné zpracování .....	74
5.2.5 Speciální procesy .....	78
<b>5.3 Porovnání a zhodnocení nepravých rychlostních konstant .....</b>	<b>79</b>
5.3.1 Reciprocita.....	80
<b>6 ZÁVĚR .....</b>	<b>82</b>
<b>7 LITERATURA A ZDROJE .....</b>	<b>83</b>

# **1 ÚVOD**

Barevné fotografie a tisky jsou součástí kulturního dědictví a proto je třeba udržovat je ve výborném stavu co nejdéle. Původcem degradace obrazové informace je jejich vystavení světlu, teplu, ozonu, či jiným vzdušným polutantům. A jejich pozorování, měření, pochopení a předcházení je v současnosti věnována velká pozornost.

V současnosti existuje několik průmyslových standardů a norem zabývajících se tématem testování světlostálosti barevných fotografií a tisků. Tyto dokumenty zpracovávají metodiku, podmínky testování, maximální přípustné meze vyblednutí obrazu a v neposlední řadě přepočty ekvivalentního stáří obrazu. Problematika přípustné meze vyblednutí je však velmi spleťtá a komplikovaná. Prováděné psycho-fyzikální studie ukázaly, že navržená konečná kritéria odborníky připravujících standardy nejsou v souladu s mezemi akceptovanými nezávislými odborníky z oboru a nezařatými pozorovateli.

Pro výpočet ekvivalentní životnosti jsou využívána data naměřená v urychlených testech stárnutí barevných fotografií nebo tisků. Při těchto urychlených testech dochází, do určité míry, k selhání recipročního zákona.

# **2 CÍL PRÁCE**

Cílem práce bylo vypracovat rešerši na téma hodnocení světlostálosti barevných fotografií, prostudovat jejich světlostálost při dlouhodobém testu a prostudovat světlostálost barevných fotografií metodami zrychleného stárnutí.



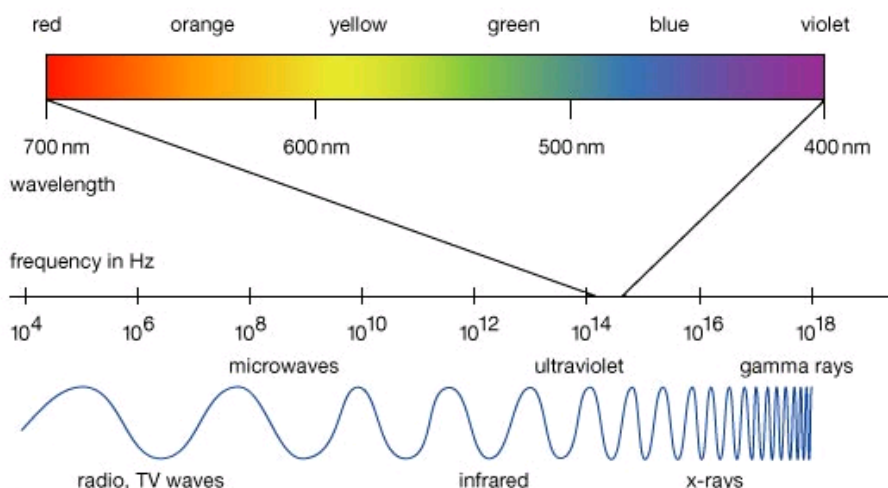
### 3 TEORETICKÁ ČÁST

#### 3.1 Experimentální metody používané při hodnocení světlostálosti

##### 3.1.1 Radiometrie

###### 3.1.1.1 Světlo jako vlna

Světlo je směsicí elektromagnetických vln různé energie a vlnové délky, od UV přes VIS. Toto záření má unikátní korpuskulárně-vlnový charakter.



**Obr. 1** Elektromagnetické spektrum

U Roentgenova záření a záření kratších vlnových délek má elektromagnetické záření chování spíše korpuskulární, a naopak u záření s dlouhými vlnovými délkami na druhém konci spektra je chování spíše vlnové. Viditelná část spektra vykazuje obojí chování v různých vzájemných poměrech.

Jako všechny vlny i ty elektromagnetické mohou spolu interferovat, mohou být polarizovány určitým směrem a mohou se také ohýbat. V radiometrii je světelná propagační čelní vlna modelována jako paprsek, který se šíří v přímce. Čočky a zrcadla optickou dráhu paprsku mění podle zákonů optiky. V rozsáhlém optickém nekoherentním systému jsou vlnové efekty zanedbatelné, protože světelné vlny jsou náhodně rozmístěny.

UV záření se dělí na tři skupiny. Nejméně škodlivé UV-A záření s nejmenší energií způsobuje emisi fluoreskujících materiálů ve viditelné oblasti. Většinou nejvíce destruktivní a energeticky bohaté UV-B záření poškozuje biologické tkáně. Energeticky nejbohatší krátkovlnné záření UV-C reaguje s kyslíkem za vzniku ozonu.

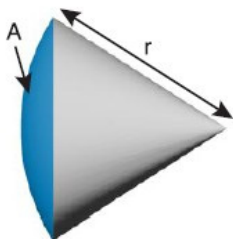
Fotony infračerveného záření mají nejmenší energii ze všech ostatních pásem, toto záření je většinou měřeno za použití termálního detektoru.<sup>1</sup>

###### 3.1.1.2 Definice, vztahy a jednotky

Každý foton nese energii  $Q$  popsanou Planckovou rovnicí, kde  $h$  je Planckova konstanta,  $c$  rychlost světla a  $\lambda$  vlnová délka. Z tohoto vztahu plyne, čím delší vlnovou délku světlo má, tím je jeho energie menší.<sup>1</sup>

$$Q = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (1)$$

Steradián je definován jako prostorový úhel, který vymezí ze středu na jednotkové kouli jednotkovou plochu, nebo na kouli s poloměrem  $r$  plochu  $r^2$  (Obr. 2). Prostorový úhel  $\Omega$  (ve steradiánech) je roven podílu sférického povrchu  $A$  a čtverce poloměru  $r$ .<sup>2</sup>



**Obr. 2** Vymezený prostorový úhel

Zářivý tok je mírou radiometrické síly, tok je vyjádřen ve wattech. Protože je energie fotonů inverzně proporcionalní vlnové délce, jsou fotony UV záření energeticky bohatší než fotony viditelné oblasti, nebo IČ. Světelný tok je mírou síly viditelného světla zachycené lidským okem, jednotkou je lumen. Lumen tedy ukazuje selektivní citlivost lidského oka ke světlu o různých vlnových délkách.

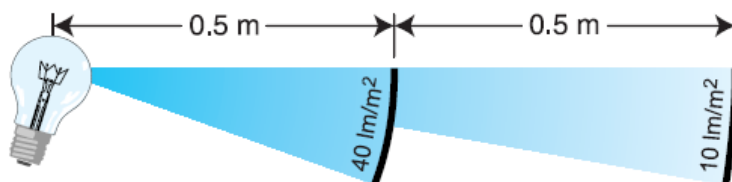
Ozáření je mírou radiometrického toku na jednotku plochy, nebo hustoty toku. Vyjadřuje se ve  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Osvětlení je mírou fotometrického toku na jednotku plochy, nebo hustoty toku viditelného světla. Vyjadřuje se v luxech.<sup>2</sup>

### 3.1.1.3 Zákon převrácených čtverců (Inverse-square law)

Zákon převrácených čtverců je základní optický princip, podle kterého intenzita světla dopadajícího na plochu klesá s druhou mocninou vzdálenosti zdroje světla od plochy. Oddálení plátna např. do dvojnásobné vzdálenosti způsobí tedy čtyřnásobný pokles intenzity světla dopadajícího na plochu. V praxi to tedy znamená, že intenzita dopadajícího světla se zvyšující vzdáleností velmi prudce klesá.

Tento zákon může být aplikován pouze pokud je zdroj světla bodový.<sup>2</sup>

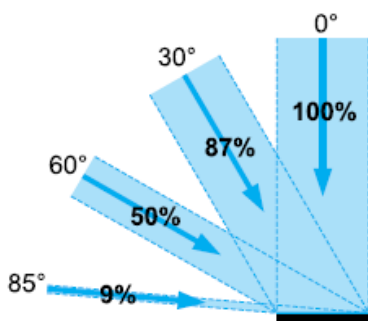
$$E = \frac{I}{d^2} \quad (2)$$



**Obr. 3** Inverzní zákon čtverce

### 3.1.1.4 Lambert-Cosinův zákon

Intenzita ozáření nebo osvětlení dopadající na jakýkoliv povrch se mění s úhlem  $\theta$  pod kterým na něj dopadá (Obr. 4).



**Obr. 4** Změna intenzity osvětlení a ozáření s měnícím se úhlem dopadu<sup>2</sup>

### 3.1.2 Denzitometrie

Denzita je míra, s jakou materiál absorbuje světlo. Platí, že čím více světla materiál absorbuje, tím je jeho hustota větší. Pro výpočet denzity se využívá logaritmická funkce, a to z několika důvodů:

- nelineární logaritmická reakce lidského oka na intenzitu světla
- umožňuje počítat s přitažlivějšími číselnými hodnotami
- takto získané výsledky lépe odpovídají tloušťce materiálu; podle Lambert-Beerova zákona (3) je absorbance závislá na koncentraci, tloušťce vrstvy a absorpčním koeficientu.

$$A = c \cdot l \cdot \varepsilon \quad (3)$$

Denzitometrie je kvantitativní metodou měření optické hustoty. Optická hustota  $D$  je rovna logaritmu převrácené hodnoty reflektance či transmitance(5).

$$R = \frac{I_r}{I_0} \quad (4)$$

$$D = -\log R \quad (5)$$

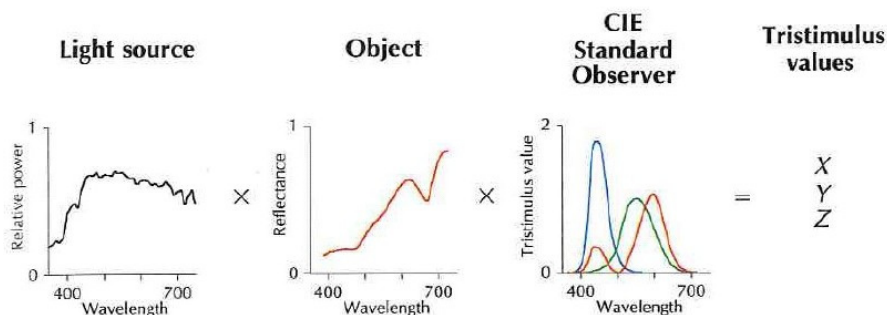
Odrazivost  $R$ , kterou možno vypočítat dle rovnice (4), nebo propustnost  $T$  je měřena jako poměr intenzity dopadajícího světla  $I_0$  a intenzity světla odraženého od povrchu (propuštěného)  $I_r$  dopadajícího na povrch detektoru. Přístroj k měření optických hustot se nazývá denzitometr.

### 3.1.3 Kolorimetrie

Cílem kolorimetrie je vytvoření numerického modelu, na jehož základě by bylo možné přesně popsat barvu a říci kdy dochází k metamerii a kdy nikoliv. Modely v současnosti dostupné nejsou zdaleka dokonalé, ale jsou natolik robustní, že na nich bylo možné postavit všechny soudobé systémy pro správu barev.<sup>3</sup>

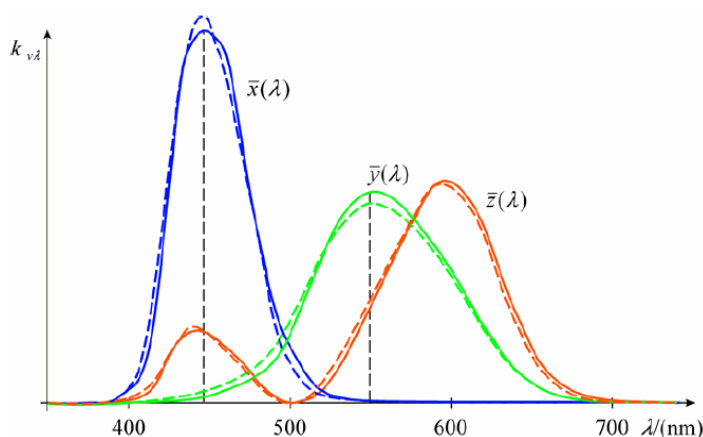
Metoda měření barev – kolorimetrie – je založena na standardech a technických specifikacích Mezinárodní komise pro osvětlení CIE. Založení CIE v roce 1931, zodpovědné za stanovení a udržování mezinárodních standardů, bylo odpovědí na poptávku po standardizaci modelů barev. Výstupy práce CIE jsou, kromě jiného, definice barvových prostorů, normy definující metodologii měření, vlastnosti pozorovatele a osvětlení.

Barva a barevnost je spojena s barevným vjemem, který vzniká při dopadu světla do optické soustavy oka. Charakter barevného vjemu je závislý na vlnové délce. Světlo je definováno jako viditelná část elektromagnetického spektra v rozmezí 380–780 nm. Světlo s kratšími vlnovými délkami vyvolává vjem modré a fialové barvy, dlouhé vlnové délky vyvolávají vjem červených odstínů. Barevný vjem je tedy výsledkem tří faktorů: pozorovaného objektu, osvětlení a citlivosti pozorovatele (soustavy).<sup>6</sup>



**Obr. 5** Barevný vjem tvořený zdrojem světla, objektem a pozorovatelem<sup>1</sup>

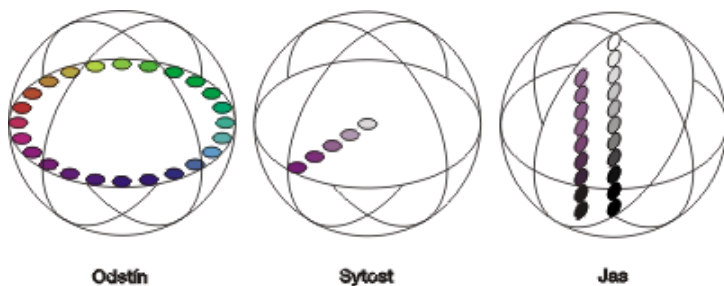
Typům a spektrálními charakteristikám různých osvětlení se věnuje kapitola 3.2.2.1. Rozeznáváme dva typy pozorovatelů, rozlišené podle úhlu vstupu paprsků do oka, a tím i plochy sítnice, kterou barvu vnímá. Standardní 2° pozorovatel má charakteristiky shodné s běžným lidským okem. Je využíván pro většinu kolorimetrických měření a výpočtů, které se vztahují k obrazovému a grafickému zobrazování. Suplementární 10° pozorovatel, se využívá pro kolorimetrické výpočty a měření vztahující se na velké oblasti barev.<sup>1</sup>



**Obr. 6** Spektrální charakteristika standardního pozorovatele 2° (plná čára) a pozorovatele 10° (přerušovaná čára)<sup>4</sup>

Pro objektivní popis barvy je třeba znát tři její vlastnosti:

- odstín – odlišuje barvy navzájem od sebe
- sytost (brilantnost) – kolorimetrická veličina vyjadřující množství barevného tónu v příslušné barvě
- jas (měrná světlost) – veličina charakterizovaná poměrem propuštěného (odraženého) světelného toku k dopadajícímu



**Obr. 7** Základní atributy barvy – odstín, sytost, jas<sup>5</sup>

### 3.1.3.1 Matematický popis barvy

Barva je definovatelná třemi čísly, a to trichromatickými složkami  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Tyto složky jsou vypočítány ze spektrální reflektance barevného vzorku  $R(\lambda)$ , spektrální distribuce osvětlení  $\Phi_0(\lambda)$  a funkcí trichromatických členitelů (spektrální citlivost lidského oka k RGB) podle těchto vztahů:

$$X = K \sum_{\lambda=380}^{780} \Phi^0(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \quad (6)$$

$$Y = K \sum_{\lambda=380}^{780} \Phi^0(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \quad (7)$$

$$Z = K \sum_{\lambda=380}^{780} \Phi^0(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \quad (8)$$

$K$  je normalizační konstanta, která se vypočítá dosazením 100 za  $Y$ , kde  $Y$  je trichromatická složka, která koresponduje s lidským vnímáním jasu. Hodnotu 100 bude mít předmět dokonale bílý, ideálně nefluorescenční s izotropickým rozptylem světla, jehož reflektance je v celém spektru 1.

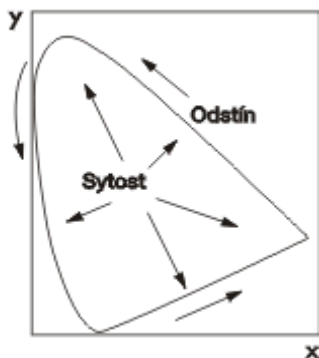
$$K = \frac{100}{\sum \Phi^0(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda)} \quad (9)$$

Z trichromatických složek lze získat trichromatické souřadnice  $x$ ,  $y$ ,  $z$ :

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, y = \frac{Y}{X + Y + Z}, z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (10)$$

### 3.1.3.2 Barvový prostor $Yxy$

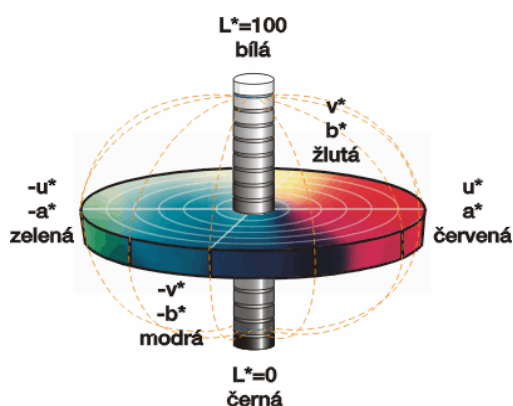
CIE 1931  $x, y$  – chromatický diagram, neboli „kolorimetrická šlápota“, je řezem barvovým prostorem při určité hodnotě jasu  $Y$ . Odstíny barev jsou rozloženy podél obvodu diagramu a jejich sytost se snižuje směrem k centrální neutrální oblasti. Tento diagram, potažmo barvový prostor, jeho nevýhodou je však neuniformita (vzdálenost dvou bodů neodpovídá změně odstínu ve všech oblastech prostoru).



**Obr. 8** Schéma barvového prostoru Yxy

### 3.1.3.3 Barvový prostor $L^*a^*b^*$

Prostor  $L^*a^*b^*$  je pravoúhlý souřadnicový systém, skládající se ze třech os. Osy nepestrosti  $L^*$ , osy  $a^*$  obsahující odstíny od červené po zelenou a osy  $b^*$ , na které leží odstíny od modré po žlutou. Je-li barva definována v CIELAB, pak  $L^*$  definuje jas,  $a^*$  udává polohu mezi primárními barvami R/G a  $b^*$  udává polohu mezi barvami Y/B.



**Obr. 9** Barvový prostor CIE 1976  $L^*a^*b^*$

Pro barvový prostor  $L^*a^*b^*$  platí následující vztahy, za podmínky, že pro osvětlení D65 a  $10^\circ$  pozorovatele je  $X_n = 94,811$ ,  $Y_n = 100,00$ ,  $Z_n = 107,305$ :

$$L^* = 116 \cdot \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \quad (11)$$

$$a^* = 500 \cdot \left[ \left( \frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (12)$$

$$b^* = 200 \cdot \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (13)$$

Tento barvový prostor je uniformní, vzdálenost mezi dvěma danými body odpovídá změně odstínu. Hodí se proto tedy na rozdíl od barvového prostoru xyY, k určování barvových odchylek.<sup>6</sup>

### 3.1.3.4 Barvová odchylka $\Delta E$

Barvovou odchylku  $\Delta E$  lze vypočítat podle následujícího vztahu:<sup>7</sup>

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (14)$$

$$\Delta E_{2000} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)} \quad (15)$$

$\Delta E_{2000}$  počítá odchylku mezi vzorkem s hodnotami  $L_2 a_2 b_2$  a referenčním vzorkem  $L_1 a_1 b_1$ . Kde  $L$  je jas,  $H$  je odstín a  $C$  je sytost.  $K_L$ ,  $K_C$ ,  $K_H$  nabývá hodnoty 1. Výpočet  $S_L$ ,  $S_C$ ,  $S_H$  je možné nalézt v literatuře.<sup>8</sup> Tato odchylka byla vytvořena pro zlepšení korelace naměřených rozdílů barev a pozorovaných rozdílů.<sup>9</sup>

Barvová odchylka  $\Delta E_{CMC}$  počítá rozdíl mezi vzorkem a referencí (16). Kde  $L$  je jas,  $C$  sytost a  $H$  odstín.

$$\Delta E_{CMC} = \sqrt{(\Delta L / l S_L)^2 + (\Delta C / c S_C)^2 + (\Delta H / S_H)^2} \quad (16)$$

## 3.2 Obecný princip hodnocení světlostálosti

Fotografie vystavené na světelných místech po určitém čase ztrácejí obrazovou informaci. Rychlost ztráty této informace závisí na mnoha faktorech jako například na zpracování, materiálu, technologii a v neposlední řadě podmínkách, kterým jsou fotografie vystaveny. Při testování světlostálosti jsou škály vystaveny zdroji záření v závislosti na typu testu po určitou dobu. V průběhu jsou škály měřeny v daných intervalech a po dosažení meze přípustného vyblednutí je test ukončen. Poté, co vzorek této meze dosáhne, je možné z dávky, které byl vzorek vystaven, učinit předpoklad životnosti obrazu. Tato mez přípustnosti vyblednutí se poté označuje jako konečné kritérium.

### 3.2.1 Testovací škály

Škála je obrazec, primárně určený k různým typům testů, podle nichž se liší její obsah. Každá škála obsahuje testovací políčka. Jednotlivá políčka se od sebe liší v odstínu, sytosti a jasu. Pole musí být dostatečně velká, aby byla přístrojem změřitelná, např. norma ISO 18909 navrhuje rozměr minimálně 5×5 mm. Počet polí testovací škály je diskutabilní, neutrální pole a primární barvy v některých případech neposkytují dostatečné množství informací o degradaci obrazu. Naopak škály obsahující nadměrné množství polí jsou zbytečně časově a přístrojově náročné ke zpracování.<sup>10</sup> Referenční vzorky jsou uchovávány ve schránkách odolných proti vodě a vlhkosti při -18°C.

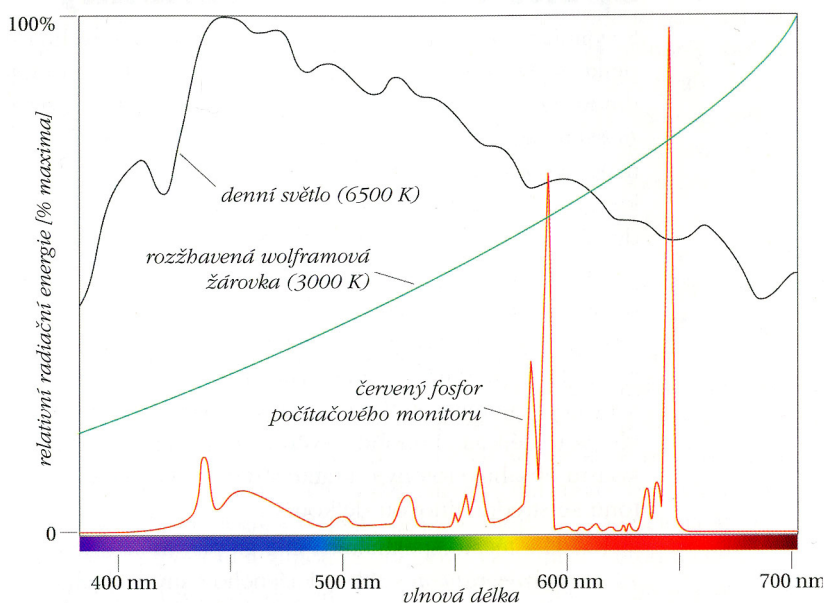
### 3.2.2 Záření, světelné zdroje, způsoby a podmínky expozice

Jako zdroj světla označujeme jakýkoliv předmět vyzařující velké množství fotonů, jejichž vlnové délky odpovídají viditelné části spektra. Pomocí spektrální charakteristiky je světlo daným zdrojem vyzařované, charakterizované.<sup>3</sup>

#### 3.2.2.1 Světelné zdroje

Rozlišujeme několik základních typů zdrojů světla:

- Černá tělesa – jsou to zdroje vyzařující fotony vznikající pouze snižováním tepelné energie atomů. Vlnová délka fotonů tělesem vyzářených závisí pouze na jeho teplotě, nikoliv na jeho složení. K popisu je používána teplota chromatičnosti.
- Denní světlo – je výsledkem záření slunce filtrovaného zemskou atmosférou, zastoupení jednotlivých vlnových délek se liší v závislosti na počasí, čase a poloze.
- Elektrické výbojové lampy – jsou tvořeny uzavřenou trubicí obsahující plyn (př. xenon). Atomy plynu jsou excitovány elektrickým výbojem, který zvyšuje jejich energii. V důsledku toho pak atomy plynu vyzařují fotony se specifickými vlnovými délkami výsledkem je spektrální charakteristika, typická velmi ostrými maximy.
- Zdroje světla formálně definována, nebo změřena CIE: Zdroj A je reprezentován typickou spektrální charakteristikou wolframové žárovky. Zdroj osvětlení D simuluje různé varianty denního světla, nejčastěji používanými jsou D50 a D65 s teplotou chromatičnosti 5000 K a 6504 K. Zdroje F je řadou fluorescenčních svítidel odpovídajících vlnovým charakteristikám různých, často používaných typů zářivek. Tyto zdroje jsou označeny F2 až F12.<sup>3</sup>



**Obr. 10** Spektrální charakteristiky tří zdrojů<sup>3</sup>

Podle normy ISO 18909 jsou předepsána, pro různé situace a testy, různá osvětlení:

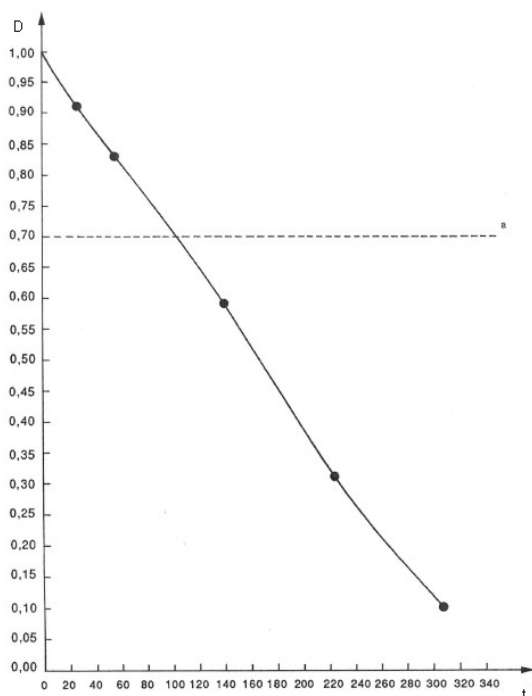
- Simulované nepřímé vnitřní osvětlení filtrované okenním sklem – je používán filtrovaný xenonový oblouk (ID65 = indoor daylight), intenzita osvětlení by měla být mezi 70–100 klx



- Sklem filtrované pokojové fluorescenční osvětlení – předepsaným typem osvětlení jsou chladné bílé fluorescenční lampy s intenzitou mezi 20 a 50 klx
- Wolframové pokojové osvětlení (wolframová žárovka) – CIE osvětlení se spektrální distribucí A s intenzitou 3 klx.
- Simulované venkovní sluneční osvětlení – používá se xenonová vysokotlaká oblouková lampa, skládající se z křemenné trubice s boro-silikátovým vnitřním a vnějším filtrem se spektrální distribucí D65. Intenzita osvětlení by měla být 100 klx.
- Střídavé wolframovo-halogenové osvětlení – pro osvětlení projektoru na diapozitivy by měla být použita halogen-wolframová lampa s IR propustným zrcadlem a skleněným filtrem pohlcujícím infračervené světlo. Intenzita osvětlení by měla být 1000 klx.<sup>11</sup>

### 3.2.3 Metody pro sledování změn

Pro sledování změn fotografických materiálů je podle stávající ISO normy předepsána denzitometrie, a tedy úbytky optických hustot. Dezitometrie byla navržena pro měření klasických halogenido-stříbrných materiálů.



**Obr. 11** Úbytek optické hustoty azurového barviva na neutrálním poli

Nové metody testování zavádějí kolorimetrii, tato však nemá ještě dokončený výzkum konečných kritérií. Další možností je využití CMS (Color Management System). Objem gamutu, tedy množina odstínů barev, charakterizuje každé zařízení. Při podrobení vzorku stárnutí na světle se objem gamutu mění, a to lze využít k hodnocení světlostálosti.

### 3.2.4 Předpověď životnosti, reciproční zákon

Reciproční zákon říká, že pokud vzorek bude vystaven světelnému záření o vysoké intenzitě po určitý čas, bude reakce na toto osvětlení stejná, jako kdyby byl vzorek vystaven nižší intenzitě po delší čas. Při velmi vysokých intenzitách však dochází k selhání

recipročního zákona, protože množství dopadajících kvant fotonů přesahuje absorpční maximum materiálu. Ne všechna dopadající kvanta jsou tedy využita pro degradaci obrazu, některá se disipují do okolí jako tepelná energie.

Většina firem při predikcích počítá expozici jednoho průměrného dne jako 450 lx/12 hod nebo 500 lx/10 hod. Výjimkou je však společnost Eastman Kodak, která jako expozici jednoho dne považuje 120 lx/12 hod, což je  $3,75\times$  menší intenzita než u všech ostatních společností. Na základě toho, se dá předpokládat u výrobků Kodak mnohem menší životnost, než je ta předpovídaná.<sup>12</sup>

**Tabulka 1** Rozdělení výrobců podle používaných standardních pokojových osvětlení<sup>12</sup>

120 lux/12 hod/ den	450lux/12 hod nebo 500 lux/10hod /den
Kodak, AgfaPhoto	Agfa-Geavert, Fuji, HP, Epson, Canon, Lexmark, Ilford, Konica, Dupont, Ferrania, Arches, LexJet, Lyson, Luminos, Hahnemuhle, American Inkjet, Media Street

### 3.3 Přehled platných norem pro testování světlostálosti

#### 3.3.1 ISO 12040 – Grafické technologie, tisk a tiskové inkousty

ISO 12040 je norma popisující světlostálost tištěných materiálů, pomocí relativního porovnání s normovanými standardy. Principem je podrobení vzorku světelnému stárnutí xenonovou výbojkou při specifikovaných podmínkách společně s modrými vlněnými referencemi. Světlostálost je poté určena přirovnáním vzorku k jedné z referencí, u které byla změna přibližně stejná jako u vzorku.

Sada referencí je vytvořena z osmi vzorků vlněné tkaniny, obarvené barvivý s různou světlostálostí (Tabulka 2). Světlostálost vzorků je potom vyjádřena zařazením do kategorie 1–8. Číslo 1 vyjadřuje velmi malou světlostálost, a naopak číslo 8 vyjadřuje vynikající světlostálost.

**Tabulka 2** Barviva a jim příslušející světlostálost

Hodnocení světlostálosti	Barvivo
1	Acid blue 104
2	Acid blue 109
3	Acid blue 83
4	Acid blue 121
5	Acid blue 47
6	Acid blue 23
7	Solubilized Vat blue 5
8	Solubilized Vat blue 8

Vzorek by měl být, stejně jako nanesená barviva, částečně zakrytý neprůhlednou deskou s tloušťkou minimálně 0,5 mm.

Vzorky jsou podrobeny stárnutí v dobře větrané testovací komoře pod xenonovým obloukem s teplotou chromatičnosti 5500 K až 6500 K. Tato lampa by měla být opatřena

filtrem nepropouštějícím v oblasti 310 nm a nižší a propouštějícím 90 % záření v oblasti 380–700 nm. Teplota černého panelu by neměla přesáhnout 45°C.<sup>13</sup>

### 3.3.2 EN 61610 – Elektronické transparentní a netransparentní obrazy

Tato mezinárodní norma se používá pro hodnocení vlastností netransparentních a transparentních obrazů vytvářených elektronickými zdroji. Hodnocení samotného zařízení vytvářejícího transparentní a netransparentní obrazy není předmětem této normy. Tato norma specifikuje signály, podmínky měření a formu prezentace výsledků měření a umožňuje jejich srovnání. Metody měření jsou koncipovány tak, aby umožňovaly hodnocení kvality těchto obrazů vytvářených elektronickými zdroji. Elektronické zdroje jsou buď analogové nebo digitální signály definovaného formátu, které odpovídají obrazům a jsou reprodukovány na transparentním nebo netransparentním mediu.

Při vystavení transparentního anebo netransparentního obrazu podmínkám běžného osvětlení místnosti, je třeba určit charakteristiku stability obrazu.

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

**Obr. 12** Specifikace vzorku, čísla odpovídají barvám viz. Tabulka 3

Je vytvořena testovací škála (Obr. 12 ) transparentního nebo netransparentního obrazu odpovídajícího vstupního signálu (Tabulka 3). Obraz se musí napříč pruhům rozdělit do dvou podobných částí, jedna slouží jako reference, druhá je vzorek.

**Tabulka 3** Specifikace vstupních signálů pro stabilitu obrazu

Barvy		Vstupní signály %		
		R	G	B
1	Bílá	100	100	100
2	Žlutá	100	100	50
3	modrozelená	50	100	100
4	Zelená	50	100	50
5	purpurová	100	50	100
6	Červená	100	50	50
7	Modrá	50	50	100
8	Černá	50	50	50

Testovací škála je vystavena xenonové lampě filtrované sodným sklem s intenzitou 0,22 W/m<sup>2</sup> při 340 nm po 7 dnů s okolní teplotou 310 K a 330 K a relativní vlhkostí 50%. Optické hustoty polí jsou měřeny každých 24 hodin. Odchyly jsou vypočteny podle následující rovnice, jako rozdíly optických hustot (17):<sup>14</sup>

$$\Delta D_{rd} = D_{rd} - D_{r0} \quad (17)$$

Norma nestanovuje žádná kritéria přístupného vyblednutí.

### 3.3.3 ISO 18909 – Fotografické materiály – Metody měření obrazové kvality

Fotografická norma ISO 18909 se zabývá stárnutím halogenido-stříbrných snímků na světle i ve tmě, upravuje podmínky testování (intenzity osvětlení, teploty a relativní vlhkosti), doporučuje měřicí techniku a konečná kritéria. Norma specifikuje podmínky pro širokou oblast testů. Tato práce se však bude věnovat jen její části, a to testování na nepřímém denním světle.

Testovací škály se skládají z polí o optické hustotě  $1,0 \pm 0,05$  nad  $D_{\min}$ . Změna OD těchto polí je sledována na neutrálním poli a polích CMY. Vzorky by měly být zpracovány podle instrukcí výrobce. Referenční vzorky, k určení odchylky denzitometru, by měly být uchovávány při teplotě  $-18^{\circ}\text{C}$  ve vzduchotěsných nádobách odolných proti vlhkosti. Stárnutí by měly být podrobeny vždy alespoň dva exempláře téhož vzorku.

Pro osvit je používána xenonová filtrovaná výbojka s okenním sklem, s intenzitou v rozmezí 50–100 klx. Vzorky by měly být umístěny v komoře při  $30 \pm 5^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkostí  $50 \pm 5\%$  s dobrou cirkulací vzduchu. „Okenní“ filtr je specifikován jako sodno-vápenaté sklo o tloušťce  $6,5 \pm 0,5\text{ mm}$  s určitou spektrální transmisí charakteristikou uvedenou v této normě.

Měly by být zaznamenávány tyto hodnoty:

- změna optické hustoty neutrálního pole s výchozí hodnotou  $D_N$  1,0 nad  $D_{\min}$  pod filtry RGB
- změna minimální optické hustoty vzorku  $D_{\min}$  pod filtry RGB (pro reflexní materiály je korekcí použití  $\frac{1}{2} D_{\min}$ )
- změna optické hustoty pole  $D_C$ ,  $D_Y$ ,  $D_M$  pod příslušnými filtry s výchozí hodnotou 1,0 nad  $D_{\min}$

Optická hustota reflexního materiálu v čase  $t$  je poté vypočtena podle vzorce (18). Korekce  $D_{\min}$  je snížena o  $\frac{1}{2}$  nárůstu kvůli násobným vnitřním odrazům světla (19).<sup>11</sup>

$$\Delta D_M(G) = D_M(G)_t - D_M(G)_0 \quad (18)$$

$$D_N(B)_t = D_N(B)_t - D_{\min}(B)_t + \frac{1}{2} [D_{\min}(B)_t - D_{\min}(B)_0] \quad (19)$$

Je sledován také posun barevné rovnováhy(20).

$$D_N(R-G)_t = \frac{D_N(R)_t - D_N(G)_t}{0,5 [D_N(R)_t + D_N(G)_t]} \times 100\% \quad (20)$$

**Tabulka 4** Konečná kritéria doporučená ISO normou 18909(cit<sup>11</sup>)

Parametry	Ilustrativní kritéria pro barevné odrazové a transmisní materiály
Změna na neutrálním poli $D_N$ pod filtry RGB ( $D_{\min}$ korigováno)	30%
Změna barevných polí $D_C(R)$ , $D_M(G)$ , $D_Y(M)$ s korekcí $D_{\min}$	30%
Posun barevné rovnováhy neutrálního pole v $\%D_N(R-G)$ , $\%D_N(R-B)$ , $\%D_N(G-B)$	15%

Změna v $D_{\min}$ pod RGB filtry	0,10%
Posun barevné rovnováhy: $D_{\min}(R-G)$ , $D_{\min}(R-B)$ , $D_{\min}(G-B)$ ,	0,06%

### 3.3.4 JEITA standard

Testované vzorky by měly být velké jako pohlednice, měly by obsahovat neutrální pole a políčka CMY s danými optickými hustotami. U testovaných vzorků by měly být zaznamenávány tyto hodnoty:

- změna optické hustoty neutrálního pole s výchozí hodnotou  $D_N$   $0,5 \pm 10 \%$ ,  $1,0 \pm 10 \%$ ,  $1,5 \pm 10 \%$  pod filtry RGB
- změna minimální optické hustoty vzorku  $D_{\min}$  pod filtry RGB
- změna optické hustoty pole  $D_C$ ,  $D_Y$ ,  $D_M$  pod příslušnými filtry s výchozí hodnotou  $0,5 \pm 10 \%$ ,  $1,0 \pm 10 \%$ ,  $1,5 \pm 10 \%$ .

Pokud zařízení není schopno vyrobit pole s optickou hustotou 1,5; bere se jako  $D_{\max}$  nejvyšší dosažitelná hodnota. Mezi sledované odstíny patří primární barvy, bílá barva a neutrálně šedý odstíny.

Změny optických hustot jsou sledovány denzitometricky. Výpočet pro pole s  $D_{\min}$  ukazuje rovnice (21). Výpočet pro procentuální úbytek optické hustoty pole podle rovnice (22). Je také sledována barevná rovnováha neutrálního pole (23) a také barevných polí, podle stejného vzorce. Měření probíhá podle podmínek stanovených normou ISO 5-4.

$$\Delta D_{\min}(R)_t = D_{\min}(R)_t - D_{\min}(R)_0 \quad (21)$$

$$\Delta D_M(G)_t = \left[ \frac{(D_M(G)_t - D_M(G)_0)}{D_M(G)_0} \right] \times 100 \quad (22)$$

$$\Delta D_N(R-G)_t = |\Delta D_N(R)_t - \Delta D_N(G)_t| \quad (23)$$

Pro osvit je používána xenonová oblouková lampa s kontinuálním spektrem v rozsahu 300–1200 nm, opatřená „okenním“ filtrem definovaným normou ISO 18909, s intenzitou ozáření mezi 30 klx a 100 klx. Teplota černého panelu by neměla přesáhnout  $40 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , teplota testovací komory by měla být udržována na  $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Relativní vlhkost by se v komoře měla pohybovat v rozmezí  $50 \pm 5 \%$ .

**Tabulka 5** Konečná kritéria stanovená ve standardu JEITA

Permissible limit of reflection density change	Image change parameter
30%	Decline in red density in a neutral patch
30%	Decline in green density in a neutral patch
30%	Decline in blue density in a neutral patch
30%	Decline in red density in a single-color patch
30%	Decline in green density in a single-color patch
30%	Decline in blue density in a single-color patch
15%	Color imbalance in the differential between red density and green density in a neutral patch
15%	Color imbalance in the differential between green density and red density in a neutral patch
15%	Color imbalance in the differential between red density and blue density in a neutral patch
15%	Color imbalance in the differential between blue density and red density in a neutral patch
15%	Color imbalance in the differential between green density and blue density in a neutral patch
15%	Color imbalance in the differential between blue density and green density in a neutral patch
Permissible limit of the reflection density in white patches	
0.06	Increase in red density or green density
0.1	Increase in blue density
0.05	Imbalance between red density and green density
0.1	Imbalance between red density and blue density
0.1	Imbalance between green density and blue density

### 3.4 Návrhy na hodnocení obrazů zhotovených digitálními technologiemi

U barevných halogenido-stříbrných fotografií jsou neutrální tóny tvořeny stejnou koncentrací azurového, purpurového a žlutého barviva. Pro tyto materiály jsou ztráty optické hustoty poměrně uniformní. Toto tvrzení neplatí v případě inkjetových tisků, při denzitometrickém měření neutrálního pole nejsou příspěvky optických hustot CMY stejné, protože inkousty mohou mít spektrální charakteristiky rozdílné od filtrů denzitometru. Jejich maxima se tak nemusí shodovat. Denzitometrie je tedy nevhodnou metodou, proto má společnost Wilhelm Imaging Research (dále jen WIR) snahu využívat místo ní kolorimetrii a vyřešit problémy s tím spojené.

Inkousty jsou aplikovány na jednu přijímací vrstvu. Jestliže zde dochází k degradaci obrazu, inkousty se nejen ovlivňují navzájem, ale jejich blednutí je často katalyzováno produkty rozkladné reakce jiného inkoustu. Blednutí těchto materiálů tak není uniformní a vyžaduje větší množství kontrolních polí.

#### 3.4.1 WIR sada kritérií 3.0

V absenci ISO norem se zaužívaly jako průmyslové standardy postupy stanovené společností WIR.

Počáteční optické hustoty pro primární barvy byly stanoveny na 1,0 a 0,6. Vzorky by měly být sušeny dva týdny při 60 % relativní vlhkosti a při teplotě 23 °C.

Expozice je zajišťována chladnou bílou fluorescenční lampou filtrovanou „okenním“ filtrem s intenzitou 35 klx při 24 °C a 60 % relativní vlhkostí.

Konečná kritéria pro posuzování obrazu byla stanovena H. Wilhelmem. Tyto kritéria jsou založena na psychometrických hodnoceních skupiny fotografií Kodak Ektacolor s různým stupněm blednutí obrazu. (Tabulka 6) <sup>15</sup>

Tabulka 6 Konečná kritéria podle WIR - Sada 3.0

Ref. No.	Allowed Percentage of Change in Initial Status A Densities of 0.6 and 1.0 <sup>1</sup>	Image Change Parameter
1	25%	Loss of cyan (red density) in neutral patches
2	20%	Loss of magenta (green density) in neutral patches
3	35%	Loss of yellow (blue density) in neutral patches
4	30%	Loss of cyan (red density) in pure color cyan patches
5	25%	Loss of magenta (green density) in pure color magenta patches
6	35%	Loss of yellow (blue density) in pure color yellow patches
7	12%	Cyan minus magenta (R – G) color imbalance in neutral patches
8	15%	Magenta minus cyan (G – R) color imbalance in neutral patches
9	18%	Cyan minus yellow (R – B) color imbalance in neutral patches
10	18%	Yellow minus cyan (B – R) color imbalance in neutral patches
11	18%	Magenta minus yellow (G – B) color imbalance in neutral patches
12	18%	Yellow minus magenta (B – G) color imbalance in neutral patches
<b>Change Limits in Minimum-Density Areas (Paper White) Expressed in Density Units</b>		
13	.06	Change [increase] in red or green density
14	.15	Change [increase] in blue density
15	.05	Color imbalance between red and green densities
16	.10	Color imbalance between red and blue densities
17	.10	Color imbalance between green and blue densities


Skupina WIR také zpracovává hodnotící zprávy o tiskových zařízeních inkoustech a potiskovaných mediích (Obr. 13 ).

www.wilhelm-research.com

Category: Inkjet Photo and Fine Art Papers

Updated June 7, 2009 (page 1 of 8)

## Canson Infinity Papers with Epson Inks – Print Permanence Ratings<sup>1</sup>



The print permanence data given here are based on tests with samples printed with an Epson Stylus Pro 9880 printer and Epson UltraChrome K3 with Vivid Magenta pigment inks. Canson Infinity fine art papers, fine art canvases, and photo papers are supplied by Canson International, BP 139, 07104 Annonay, Cedex, France. Canson Infinity papers are available from suppliers and dealers in countries throughout the world.

www.cansoninfinity.com

Paper, Canvas, or Fine Art Media Printed With Epson UltraChrome K3 Pigment Inks	Displayed Prints Framed Under Glass <sup>(2)</sup>	Displayed Prints Framed With UV Filter <sup>(4)</sup>	Displayed Prints Not Framed (Bare-Bub) <sup>(5)</sup>	Album/Dark Storage Rating at 73°F & 50% RH (incl. Paper Yellowing) <sup>(3)</sup>	Unprotected Resistance to Ozone <sup>(7)</sup>	Resistance to High Humidity <sup>(8)</sup>	Resistance to Water <sup>(9)</sup>	Are UV Brighteners Present <sup>(10)</sup>
Canson Infinity BFK Rives	72 years	>120 years	39 years	>200 years	>100 years	very high	moderate <sup>(11)</sup>	no
Canson Infinity Edition Etching Rag	69 years	>120 years	36 years	>200 years	>100 years	very high	moderate <sup>(11)</sup>	no
Canson Infinity Arches Velin Museum Rag	67 years	>120 years	39 years	>200 years	>100 years	very high	moderate <sup>(11)</sup>	no
Canson Infinity Rag Photographique	69 years	>120 years	36 years	>200 years	>100 years	very high	moderate <sup>(11)</sup>	no
Canson Infinity Rag Photographique DUO	65 years	>120 years	37 years	>200 years	>100 years	very high	moderate <sup>(11)</sup>	no
Canson Infinity Platine Fibre Rag	now in test	now in test	now in test	now in test	now in test	very high	moderate <sup>(11)</sup>	no
Canson Infinity PhotoGloss Premium RC Photo	87 years	>120 years	49 years	>200 years	>100 years	very high	high	no
Canson Infinity PhotoSatin Premium RC Photo	88 years	>120 years	48 years	>200 years	>100 years	very high	high	no
Canson Infinity Arches Aquarelle Rag	67 years	>120 years	36 years	>200 years	>100 years	very high	moderate <sup>(11)</sup>	no
Canson Infinity Montval Aquarelle	75 years	>120 years	43 years	>200 years	>100 years	very high	moderate <sup>(11)</sup>	no
Canson Infinity Montval Torchon	>100 years	>120 years	63 years	>200 years	>100 years	very high	moderate <sup>(11)</sup>	no
Canson Infinity Mi-Teintee 50% Rag	71 years	>120 years	41 years	>200 years	>100 years	very high	moderate <sup>(11)</sup>	no
Canson Infinity Museum Canvas Water Res. Matte	73 years	>120 years	43 years	>200 years	>100 years	very high	moderate <sup>(11)</sup>	no
Canson Infinity Artist Canvas Water Res. Matte	87 years	>120 years	56 years	>200 years	>100 years	very high	moderate <sup>(11)</sup>	no
Canson Infinity Artist Canvas Professional Gloss	66 years	>120 years	50 years	>200 years	>100 years	very high	moderate <sup>(11)</sup>	no

©2009 by Wilhelm Imaging Research, Inc. As long as this document remains complete and unaltered, it may be freely distributed to your associates, customers, and friends. This PDF may also be reproduced in magazine articles, books, and other hardcopy print publications; however, it may not be posted on websites without written permission. Links to <www.wilhelm-research.com> are welcomed. Address e-mail inquiries to: <info@wilhelm-research.com> Wilhelm Imaging Research, Inc., Box 775, Grinnell, Iowa 50112 U.S.A.

See next two pages for permanence data with Canon and HP pigment inks . . .

This document originated at <www.wilhelm-research.com> File name: <WIR\_Canson\_2009\_06\_07.pdf>

Obr. 13 Závěrečná hodnotící zpráva WIR o papírech Canson potiskovaných inkousty Epson a jejich predikce životnosti je vypracována s využitím konečných kritérií 3.0<sup>16</sup>

### 3.4.2 WIR sada kriterií 4.0

Oproti verzi 3.0 je změněna testovací škála. Počáteční optické hustoty je snížena z 0,6 na 0,5 a je přidáno pole o optické hustotě 1,5 pro všechny sledované odstíny. Testovací škála se skládá polí o optických hustotách v rozmezí 0,4–1,6 s krokem 0,1. Zastoupeny jsou odstíny CMYK, pleťové, červené, fialové a zelené.

Expozice je zajišťována xenonovou výbojkou, intenzita osvětlení je 75 klx a podmínky v testovací komoře jsou udržovány na teplotě 23 °C a 50 % relativní vlhkosti. Tabulka 7 shrnuje konečnou sadu kriterií WIR 4.0.<sup>17</sup>



Obr. 14 Testovací škála WIR pro sadu kriterií 4.0

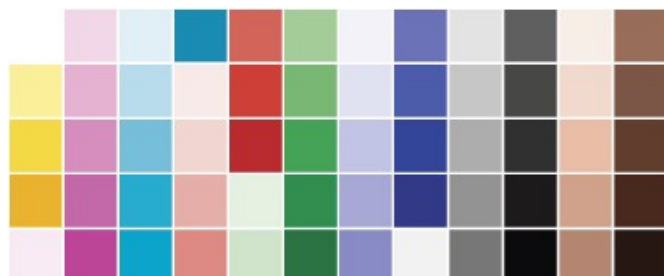
Tabulka 7 WIR Sada vizuálně vážených kriterií 4.0

Ref. No.	Change Limits in Initial Status A Densities of 0.5, 1.0, and 1.5	Image Change Parameter
1	I* (percent retained) TBD	Changes in representative human skintone colors
2	12%	Cyan minus magenta (R – G) color imbalance in neutral patches
3	15%	Magenta minus cyan (G – R) color imbalance in neutral patches
4	18%	Cyan minus yellow (R – B) color imbalance in neutral patches
5	18%	Yellow minus cyan (B – R) color imbalance in neutral patches
6	18%	Magenta minus yellow (G – B) color imbalance in neutral patches
7	18%	Yellow minus magenta (B – G) color imbalance in neutral patches
8	25%	Loss of cyan (R) in neutral patches
9	20%	Loss of magenta (G) in neutral patches
10	35%	Loss of yellow (B) in neutral patches
11	30%	Loss of cyan (R) in pure color cyan patches
12	25%	Loss of magenta (G) in pure color magenta patches
13	35%	Loss of yellow (B) in pure color yellow patches
14	25%	Loss of magenta or yellow (G or B) in red patches
15	25%	Loss of cyan or yellow (R or B) in green patches
16	25%	Loss of cyan or magenta (R or G) in blue patches
17	18%	Color imbalance between magenta (G) and yellow (B) in red patches
18	18%	Color imbalance between cyan (R) and yellow (B) in green patches
19	18%	Color imbalance between cyan (R) and magenta (G) in blue patches
<b>Change Limits in Minimum-Density Areas (Paper White) Expressed in Density Units</b>		
20	.06	Change [increase] in red or green density
21	.15	Change [increase] in blue density
22	.05	Color imbalance between red and green densities
23	.10	Color imbalance between red and blue densities
24	.10	Color imbalance between green and blue densities



### 3.4.3 Návrh kolorimetrického hodnocení světlostálosti podle WIR

Testovací škála se skládá z odstínů CMYK, RGB a odstínu pleťového o různých hodnotách jasu (Obr. 15 ).



**Obr. 15** Testovací škála navržená pro potřeby kolorimetrického hodnocení<sup>18</sup>

Barvová odchylka  $\Delta E^*_{ab}$  (14) sice vyjadřuje velikost změny, ale neříká nic o jejím směru. Varianty barvové odchylky  $\Delta E_{94}$  a  $\Delta E_{CMC}$  (16) je vhodné používat, pokud je analýza zaměřena na jednoduchou kvantifikaci postřehnutelných rozdílů mezi dvěma poli. Koncept kombinace rozdílů jasu, odstínu a sytosti pro vytvoření jedné hodnoty, jako míry rozdílu mezi dvěma odstíny je však uspokojivý, pouze pokud jsou pozorovány dva mírně odlišné odstíny. Odchylku  $\Delta E$  je také možné využívat jako míru opakovatelnosti procesu.

Lidé nevidí při prohlížení snímků jen dvě barvy vytržené z kontextu, ale vnímají je jako celek a zpracovávají vztahy barev v souvislosti na změně jasu, sytosti a odstínu nezávisle na obsahu snímku. Tyto vztahy nelze vyjádřit jen ve třech hodnotách ( $L^*, a^*, b^*$ ) tak, aby měly stejnou vypovídací hodnotu pro lidské oko. Ve skutečnosti je pro obraz a jeho prostorové vyjádření nejkritičtější hodnota jasu. A tak by měla objektivní kolorimetrická testovací metoda obrazové kvality zahrnovat posouzení  $L^*$  nezávisle na  $a^*$  a  $b^*$ . Další vadou konceptu  $\Delta E$  je vyjádření  $\Delta a^*$  a  $\Delta b^*$  bez závislosti na původních hodnotách sytosti tak, že rozdíl mezi sytostí dvou barev blízko osy nepestrosti je mnohem výraznější, než ten se stejnou odchylkou u plně sytých barev.

Problém u kolorimetrického hodnocení nastává s určováním konečných kritérií pro gamuty o velkém, či malém objemu. Kolorimetrické škály by neměly být zaměřeny jen na odstíny obsažené v gamutu s malým objemem. Odstíny by měly být vybrány z gamutu o reprezentativním středně velkém objemu. Řešením je použití reprodukčního záměru ze správy barev.<sup>18</sup>

**Tabulka 8** Přípravná kolorimetrická kritéria – změny v kolorimetrické škále by neměly přesáhnout tyto hodnoty

<i>Parametr</i>	<i>Kritérium</i>
Barevná změna	$33\% \times C_i$ nebo $8\Delta a^*b^*$
Změna v kontrastu světlých odstínů	$\pm 40\%$ , $S_2 = L_1$
	$\pm 60\%$ , $S_1 = \Delta L$ , $\Delta L = L_{\text{Papír}} - L_{L1}$
Změna kontrastu středních a tmavých odstínů	$\pm 20\%$ , $\Delta L$ interval je 7
Změna podložky	$12\Delta a^*b^*$ nebo $5L$

Kde  $C_i$  je počáteční hodnota sytosti a  $\Delta a^*b^*$  je odmocnina součtu druhých mocnin  $\Delta a^*$  a  $\Delta b^*$ . Změna v kontrastu je založena na hodnotě gamma, tonální křivce části  $S$ , kde  $S_1 = \Delta L$  (rozdíl mezi bílou podložkou a polem s hodnotou jasu o 5 menší).<sup>18</sup>

### 3.4.4 WIR Retained Image Appearance metric

Testovací šála obsahuje 800 polí pro analýzu  $I^*$ . Škála mapuje 12 odstínů s různým jasnem a sytostí, také neutrální, pleťové odstíny, odstíny s plným tonálním gradientem a také ty z barevného prostoru sRGB.



**Obr. 16** Testovací škála WIR i-star sRGB (v 1.0)

Protože je tato metoda ve vývoji, nebyly ještě stanoveny podmínky expozice. Změny jsou sledovány kolorimetricky.

Retained image appearance, neboli zbytková obrazová informace, se skládá ze dvou částí  $I^*_{color}$  (barevné informace) a  $I^*_{BW}$  (informace osy nepestrosti). Faktor  $w$  vyjadřuje poměr mezi barevnou a černobílou informací (24). Barevná informace  $I^*_{color}$  je přímo závislá na  $C^*$  sytosti odstínu (Obr. 17).

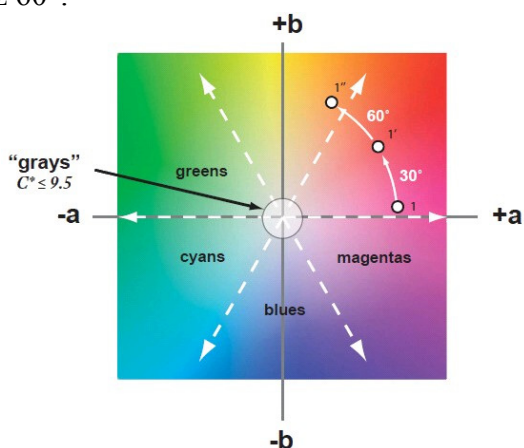
$$I^* = \frac{I^*_{color} + (I^*_{B\&W} + w)}{1 + w} \quad (24)$$



**Obr. 17** Digitálně simulovaný úbytek  $I^*_{color}$  u obrázku (z leva 100% chroma, 50% chroma, 0% chroma)

Odstín je v barvovém prostoru  $L^*a^*b^*$  určen poměrem  $a^*$  a  $b^*$ . Čím více se tyto dvě souřadnice blíží k nule, tak se ztrácí i odstín. Přísně neutrální odstín by znamenal při výpočtu  $I^*$  dělení nulou. Průřez barvovým prostorem ( $L = 50$ ) je rozdělen na sedm skupin odstínů: žluté, červené, purpurové, modré, azurové, zelené a šedé. Definice šedé oblasti jako prostoru s  $C^* \leq 9,5$ , byla zvolena tak, aby standardní pozorovatel byl schopen mimo šedé odstíny rozeznat posun odstínu o  $3^\circ$ .

$I^*_{color}$  může nabývat negativních hodnot v případě, když je změna barevného odstínu větší než  $60^\circ$ .



**Obr. 18** Řez prostorem  $L^*a^*b^*$  ( $L = 50$ ) se zobrazením šedých odstínů a posunu barevné rovnováhy



**Obr. 19** Digitálně simulovaná změna  $I^*_{color}$  v závislosti na změně odstínu. Zleva  $I^*_{color}=100\%$  (odchylka  $0^\circ$ ),  $I^*_{color}=50\%$  (odchylka  $-30^\circ$ ),  $I^*_{color}=0\%$  (odchylka  $-60^\circ$ ).

$I^*_{color}$  tedy zahrnuje změny odstínu, sytosti a také odchylky v šedé oblasti obrazové informace. Rovnicí (25) vypočteme  $I^*_{color}$  pro  $C^* > 9,5$ . Rovnicí (26) kde  $C^* \leq 9,5$  získáme  $I^*_{color}$  pro šedé odstíny. Jestliže se  $I^*_{color}$  bude rovnat nule, dojde k úplné ztrátě barevné informace, nebo dojde k posunu barevné rovnováhy o  $60^\circ$ .<sup>19</sup>

$$I^*_{color} = \frac{\sum_{l=n} \left[ 1 - \frac{(\Delta a^* b^*)_n}{(C^*_i)_n} \right]}{n} \quad (25)$$

$$I_{color}^* = \frac{\sum_{l=n} \left[ 1 - \frac{(\Delta a^* b^*)}{9,5} \right]}{n} \quad (26)$$

Funkce  $I_{B\&W}^*$  je přímo závislá na kontrastu. Pokud se bude tato funkce rovnat nule, nebude vidět žádný obraz, a to v podobě bílé podložky, nebo úplného závoje.



**Obr. 20** Digitálně simulovaná změna  $I_{B\&W}^*$  (zleva  $I_{B\&W}^* = 100\%$ ,  $I_{B\&W}^* = 50\%$ ,  $I_{B\&W}^* = 10\%$ )

$$I_{B\&W}^* = \frac{\sum_{l=n} \gamma_n}{n} \quad (27)$$

Pro  $-1 \leq \gamma_n \leq 1$ , kde  $\gamma_n$  se rovná poměru rozdílů původních jasů  $n$ -tého páru barevných polí a jasů v čase  $t$ .

$$\gamma_n = \frac{(\Delta L_f)_n}{(\Delta L_i)_n} \quad (28)$$

V souvislosti se sledováním změn optických hustot tuto metodu lze považovat za komplexní. Konečná kritéria zatím nebyla uveřejněna.<sup>20</sup>

### 3.4.5 Kritéria určená k hodnocení obrazu a jejich stanovení

Konečná kritéria a jejich přesné určování jsou obsahem mnoha studií. Některé z nich jsou založené na psycho-fyzikálních metodách hodnocení, některé z nich konečná kritéria staví na barvové odchylce  $\Delta E$  a jiné na úbytku optických hustot.

Psycho-fyzikální testy jsou založeny na posouzení určitých změn předem připravených škál reprezentativním vzorkem odborníků či laiků. Z různých spotřebitelských snímků s rozdílným obsahem (lidé, spol. události, krajina aj.) jsou vybrány odstíny podle četnosti a jsou z nich vytvořeny testovací škály. Škály jsou připraveny digitálním simulováním stárnutí s přesnými úbytky optických hustot. Takto připravené vzorky byly porovnávány pozorovateli a děleny do několika skupin.<sup>21</sup>

Podle WIR existují dvě porovnávací metody:

- Pozorovatel je požádán o přímé porovnání původního a zestárlého vzorku. Poté má vyjádřit rozdíl který zaznamenal (bez rozdílu, sotva postřehnutelný, postřehnutelný, výrazný a velmi výrazný rozdíl).

- Pozorovateli je předkládán vždy jen jeden snímek s nahodilým pořadím. Ten má vyjádřit kvalitu v 5-ti stupních (Výborná, dobrá, uspokojující, slabá a absolutně nevyhovující kvalita obrazu).

Simulací situací byly pokryty nejčastější změny – úbytek optické hustoty, úbytek optické hustoty s posunem barevné rovnováhy, vznik závoje ( $D_{min}$ ), úbytek optické hustoty na polích CMYK.

Ve studii Endpoint Criteria for Print Life Estimation byly škály po zařazení odborníky do 6 kategorií (podle změn – 3 akceptovatelné, 3 neakceptovatelné). Z výsledků studie vyšla nová sada hodnotících kritérií (Tabulka 9), a je porovnávána s ISO 19077 (která je předchůdcem ISO 18909) a WIR sadou kritérií 3.0.<sup>22</sup>

**Tabulka 9** Shrnutí konečných kritérií<sup>22</sup>

Atribut			Konečná kritéria		Shibihara et al.		
Pole	Atribut	Barva	ISO 10977	WIR 3.0	Barevný posun	Výsledky	Doporučení
	Optická hustota	Azurov	30%	30%	k červené	78%	40%
		Purpuro	30%	25%	k zelené	39%	
		Žlutá	30%	35%	k modré	48%	
		Červená	NS	NS	k azurové	42%	
		Zelená	NS	NS	k purpurové	42%	
		Modrá	NS	NS	ke žluté	40%	
Neutrální pole	Optická hustota	Červená	30%	25%		23%	23%
		Zelená	30%	20%		23%	
		Modrá	30%	35%		23%	
	Barevný posun	R-G	15%	15%	k zelené	13%	15%
					k azurové		
		G-R	15%	12%	k červené	16%	
					k purpurové		
		R-B	15%	18%	k modré	17%	
					k azurové		
		B-R	15%	18%	k červené	16%	
					ke žluté		
		G-B	15%	18%	k modré	17%	
					k purpurové		
		B-G	15%	18%	k zelené	13%	
					ke žluté		
$D_{min}$	Optická hustota	Červená	0,10	0,06		0,21	0,20
		Zelená	0,10	0,06		0,21	
		Modrá	0,10	0,15		0,21	
	Barevný posun	R-G	0,06	0,05		NS	0,13
		R-B	0,06	0,10		0,13	
		G-B	0,06	0,10		0,13	



### 3.4.6 Možnosti využití Správy barev pro hodnocení světlostálosti

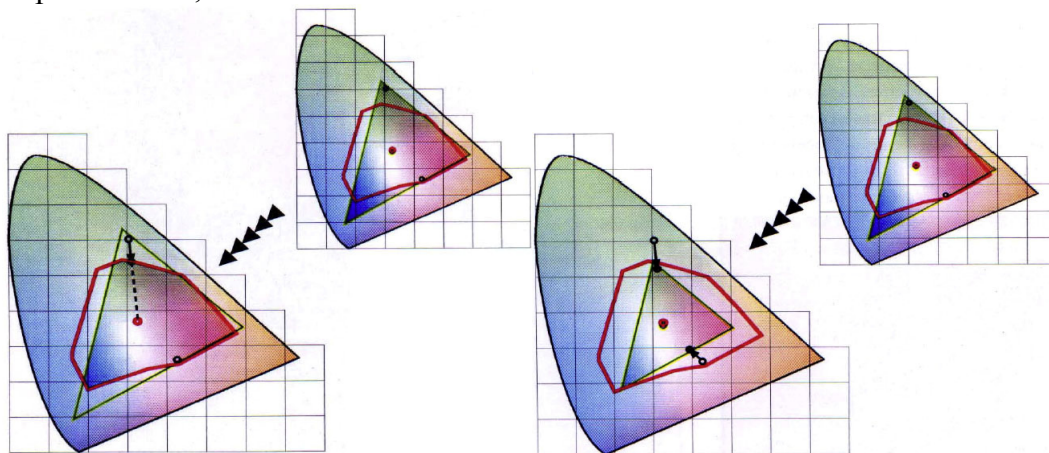
#### 3.4.6.1 Základy Správy barev – Color Management System

V minulosti byl používán uzavřený systém. Zařízení byla instalována jako celek. Veškerý hardware a software byl dodán jedním výrobcem. Zařízení byla vzájemně zkalibrována a výrobce takto zaručoval přesnost a kvalitu. V současnosti se používá otevřený systém, založený na převodu informací ze vstupních zařízení do prostoru propojení profilů (PCS-profile connection space), a poté do výstupních zařízení. Prostor PCS funguje jako centrum veškerých transformací z jednoho zařízení do druhého.

Kolorimetrie je základem správy barev, protože umožňuje definovat barvy jednoznačně, a to tak jak jsou vnímány lidmi. Systémy pro správu barev provádějí dvě základní úlohy. Musí zjistit jaké vnímané barvy představují hodnoty RGB či CMYK a přiřadit jim specifický barevný význam, také musí zajistit zachování informace při předávání z jednoho zařízení do druhého.

Základní složky správy barev jsou čtyři:

- PCS – propojení profilů umožňuje přiřadit nějaké barvě zcela jednoznačné numerické hodnoty z prostorů CIE  $L^*a^*b^*$  či CIE XYZ
- ICC profil – popisuje vztah mezi hodnotami RGB či CMYK nějakého zařízení a skutečnou barvou, která bude na základě těchto hodnot zobrazena či vytištěna. Přiřazuje tedy hodnotám z CIE XYZ hodnoty CIE  $L^*a^*b^*$ . Vizualizace ICC profilu je barvový prostor o určitém objemu, tento gamut je množinou barev reprodukovatelných daným zařízením.
- CMM – (color management module) modul správy barev je software, který provádí veškeré výpočty potřebné pro převod hodnot.
- Reprodukční záměr – (Rendering intent) jsou to čtyři různé metody vykreslování barev nacházejících se mimo gamut – relativní kolorimetrický, absolutní kolorimetrický, procentuální, saturační.<sup>3</sup>



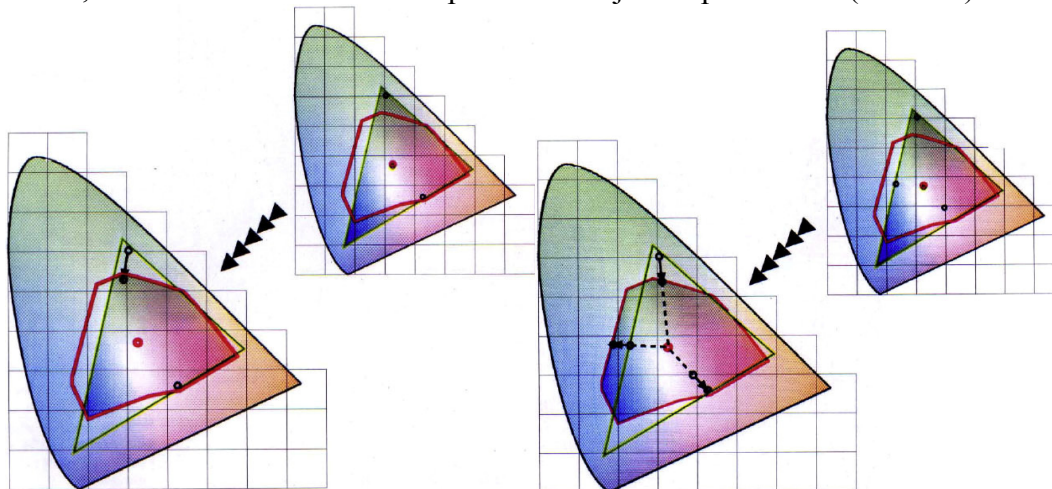
**Obr. 21** Absolutní kolorimetrický adaptační záměr (vlevo), Relativní kolorimetrický adaptační záměr (vpravo)

Kolorimetrická absolutní adaptační metoda barvy nacházející se v gamutu výstupního zařízení nemění, ty které zařízení nedokáže reprodukovat (mimo gamut) nahrazuje nejbližšími barvami na okraji gamutu cílového profilu. Původně rozdílné barvy mohou být po konverzi tedy úplně stejné. (Obr. 21 )

Kolorimetrická relativní adaptační metoda pracuje stejně jako absolutní kolorimetrická metoda, s tím rozdílem, že rozsah jasů barev vstupního profilu se přepočítá do rozsahu jasů barev výstupního profilu, zachován je původní bílý bod výstupního profilu (Obr. 21 ).

Perceptuální adaptační metoda je určena hlavně na konverzi polotónových bitmapových souborů. Zdrojový gamut je proporcionálně komprimovaný do gamutu cílového tak, aby se zachovaly vzájemné vztahy mezi reprodukovánými barvami, a tím i celkový dojem obrazu. Jedné barvě zdrojového obrazu odpovídá jedna barva cílového gamutu (Obr. 22 ).

Saturační adaptační metoda modifikuje barvy tak, aby přesně vyplnily výstupní gamut, to znamená, že některé části budou komprimované a jiné expandované (Obr. 22 ).<sup>3</sup>



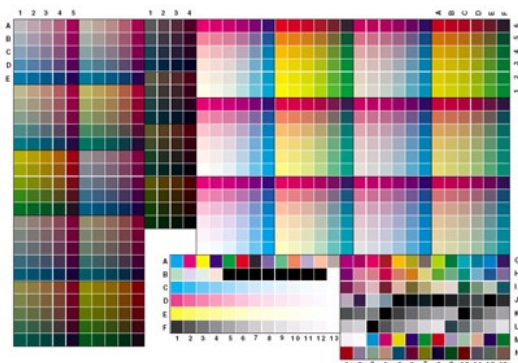
**Obr. 22** Perceptuální adaptační metoda (vlevo), Saturační adaptační metoda (vpravo)

Velmi důležité je i 3C ve správě barev (calibration, characterisation, conversion), tedy kalibrace, charakterizace a konverze.<sup>3</sup>

Pro charakterizaci zařízení jsou používány profilační škály. Podle normy ISO 12641, obsahuje škála na tvorbu vstupního profilu 252 polí (Obr. 23 ), výstupního profilu 928 polí (Obr. 24 ). Výrobci dodávají tyto škály na všech druzích materiálů (odrazové, transparentní), spolu se souborem spektrálních hodnot.



**Obr. 23** Profilační škála pro vytvoření vstupního profilu podle ISO normy 12641<sup>23</sup>

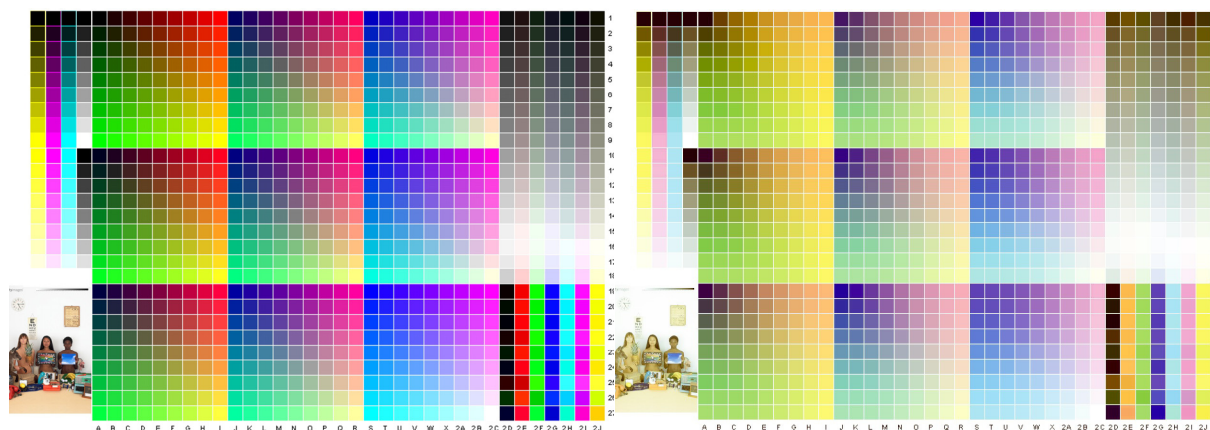


**Obr. 24** Profilační škála pro tvorbu výstupního profilu dle ISO 12641, obsahuje 0%, 10%, 20%, 40%, 70%, 100% každého inkoustu ve všech možných kombinacích, CMYK škály a téměř neutrální odstíny.

Testovací škály jsou navrhovány tak, aby uniformně pokryly prostor RGB a škály CMYK. Pokud jsou součástí testu také obrázky, jsou rozděleny do kategorií a ty ještě na podskupiny, které reflektují obsah a jejich frekvenci na běžných spotřebitelských fotografiích. Škály musí také splnit specifická objektivní kritéria, jako nízká a vysoko-frekvenční informace, saturaci barev, gradienty, paměťové barvy (tráva, pleť, pomeranče, atp.) a odstíny z protilehlých částí osy nepestrosti <sup>24</sup>.

#### 3.4.6.2 Využití CMS pro hodnocení světlostálosti

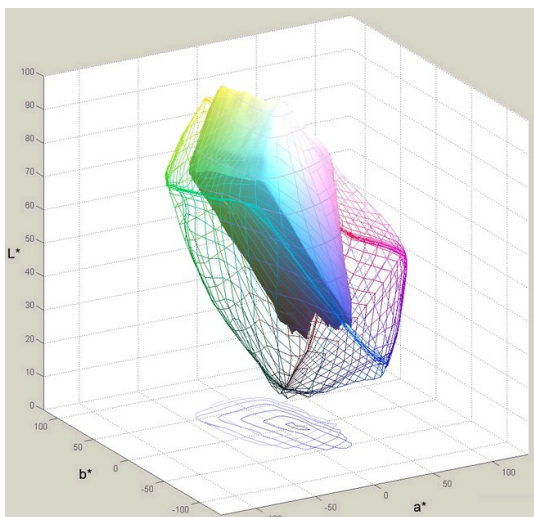
Každé zařízení je charakterizováno ICC profilem, jehož obsah se dá využít pro hodnocení světlostálosti. ICC profil popisuje vztah mezi RGB a  $L^*a^*b^*$  hodnotami. Pomocí profilů je možné digitálně simulovat stárnutí vzorků. Jejich vizualizaci v softwaru Gamutvision™ je gamut, barvový prostor o určitém objemu. Tento objem má také vlastnost charakterizace různých zařízení, inkoustů a potiskovaných materiálů.



**Obr. 25** Testovací škála před expozicí (vlevo), testovací škála podrobená stárnutí (vpravo)

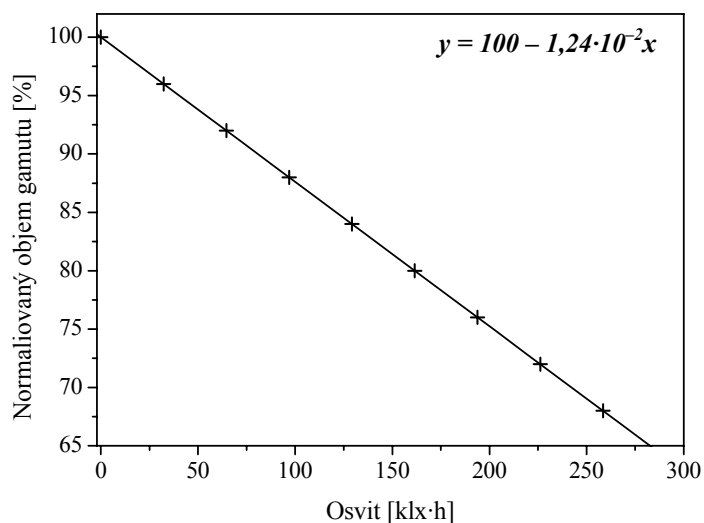
Degradaci obrazové informace dochází ke změnám objemů gamutů. Většinou dochází k rozkladu barviv na bezbarvé látky a tím i zmenšování objemu barvového prostoru. Někdy však v přijímací vrstvě dochází k reakcím vedoucím k nárůstu objemu gamutu. K těmto reakcím dochází pravděpodobně v důsledku mnoha možných příčin. Tyto zahrnují působení tepla, reakce inkoustů a složek přijímacích vrstev, reakci degradačních produktů za vzniku jiných odstínů, a také změnu lesku, která ovlivňuje naměřené hodnoty sytosti.





**Obr. 26** Ukázka úbytku objemu gamutu vzorku; síťovaný povrch odpovídá vzorku před expozicí, plný vzorku po expozici

Pokud budeme předpokládat počáteční lineární pokles gamutu, můžeme tuto závislost použít ke stanovení nepravé rychlostní konstanty. A pomocí této konstanty vypočítat dobu potřebnou k přípustnému úbytku objemu gamutu. Takto se dá nepřímo určovat životnost.



**Obr. 27** Ideální příklad úbytku objemu normalizovaného gamutu v závislosti na osvitu

## 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 4.1 Přehled použitých materiálů a principů tvorby obrazové informace

#### 4.1.1 Klasické „mokrý“ procesy

Pod pojmem klasické mokré procesy myslíme procesy, původně určené pro optické kopírování negativní, nebo pozitivní předlohy na fotografický papír. Dnes je osvit většinou obstaráván laserem.

##### 4.1.1.1 RA-4

Proces RA-4 je určen pro výrobu barevných fotografií, kopírováním z negativního materiálu na pozitivní materiál.

Předloha, negativní obraz, se exponuje na negativně pracující třívrstvou emulzi se selektivní senzibilací k červené, zelené, modré, a barvotvornými složkami přítomnými v příslušných vrstvách. Zpracování sestává z barvotvorného vyvolávání, při kterém vzniká kovové stříbro a barviva, bělení, kdy se stříbro mění na halogenid stříbrný, a ustalování, kdy se halogenid převádí na rozpustný komplex pro vyplavení z emulze.<sup>25</sup>

##### 4.1.1.2 P-3

Vybělovací proces je založen na bělení thiomocovinou nebo kyselinou bromovodíkovou některých typů barviv v přítomnosti koloidního stříbra. Barviva ve vrstvách jsou vybrána tak, aby bylo možné je redukovat na bezbarvé sloučeniny štěpením azoskupiny  $-N=N-$  na aminoskupinu. V přítomnosti thiomocoviny, nebo HBr je stříbro převedeno na sulfid stříbrný nebo halogenid stříbrný.<sup>26</sup>

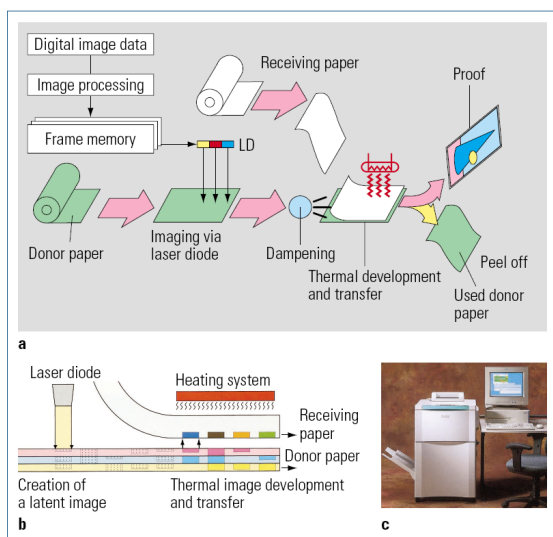
Katalytické vybělování je rozdílné od chromogenního vyvolávání hlavně v tom, že barviva jsou přítomna v materiálu a po expozici jsou vybělena, zatímco u chromogenního vyvolávání je barvivo teprve vytvořeno z barvotvorných složek.

Uspořádání vybělovacího materiálu je odlišné od klasických chromogenních materiálů. V současné materiály jsou složeny z mnoha vrstev, mezi nimiž jsou proloženy takové, které fungují jako bariéry proti difuzi barviv do sousedních vrstev.

#### 4.1.2 Speciální procesy

##### 4.1.2.1 Pictrography

Jedná se o metodu kombinující osvit laserovou diodou, tepelné vyvolávání a přenos barviva. Donorový papír je exponován pomocí počítačem kontrolovaných svazků laserových paprsků, které vytvoří latentní obraz. Přijímací podložka je uvedena do kontaktu s donorovým papírem. Kontaktní místo obou podložek je nahřáté, a dochází k termálnímu vyvolání latentního obrazu. Barvivo difunduje do přijímací vrstvy tiskového media. Tento proces je určen pro digitální tisk.

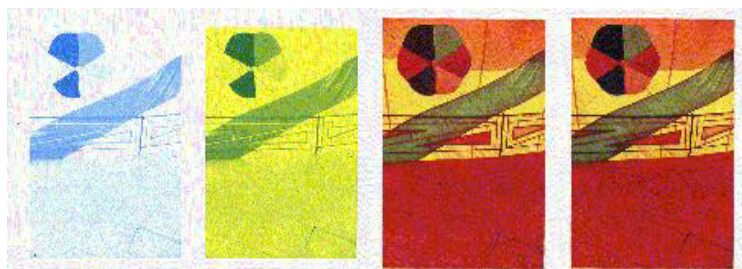


**Obr. 28** *Princip pictografie*

#### 4.1.2.2 *Quadrichromie*

Tento specializovaný proces je určen pro výrobu vysoce stálých fotografií z barevných pozitivů a negativů optickým kopírováním.

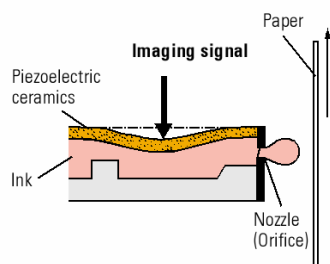
Původní předloha (negativ, diapositiv) je kopírována na černobílý panchromatický negativ. Tento černobílý negativ je použit pro výrobu zvětšenin tří barevných výtažků se třemi pigmentovými emulzemi CMY. Polévací emulze vzniká emulgováním azurového pigmentu a senzibilátorů v želatině. Pod červeným filtrem je exponován obraz na azurovou pigmentovou vrstvu na papír kartónového typu, bez barytu. Po vyvolání první vrstvy je papír usušen a je nanесena žlutá vrstva, exponována pod modrým filtrem z čb negativu. Papír s oběma vrstvami je vyvolán a usušen a potom je nanесena třetí purpurová vrstva. A proces je opakován.



**Obr. 29** *Postupné nanášení vrstev v procesu Fresson Quadrichrome<sup>27</sup>*

#### 4.1.3 Inkjet

Současnou nejrozšířenější technologií pro digitální tisk je inkjet. Jedná se o digitální tiskový proces (computer to print), kde je inkoust přenášen přímo na přijímací substrát prostřednictvím hlavy řízené elektronickým signálem. Tato hlava vystřeluje inkoustové kapky různé velikosti na potiskované medium, kde inkoust zasychá. Pro záznam obrazových tónů se využívá amplitudového a frekvenčního rastrování.



**Obr. 30** *Piezo inkjet 23*

## 4.2 Použitá zařízení

### 4.2.1 Zařízení a vybavení laboratoře

- Spektrální kolorimetr GretagMacbeth™ SpectroScan
- X Rite Spectrophotometer – densitometer series 500
- Sluneční komora Q-Sun Xenon test chamber Model Xe-1-B
- Spektrometr Ocean Optics Red Tide USB650
- Zdroj záření LP-1-LL – wolframová halogenová lampa
- X97 Irradiance Meter se sondou X9-7
- X11 Optometr se sondou XD-950

### 4.2.2 Použitý software

- Imatest LCC Gamutvision™
- GretagMacbeth Profile Maker 5.0.5
- GretagMacbeth Profile Editor 5.0.5
- GretagMacbeth Measure Tool 5.0.5
- Ocean Optics Spektra Suite
- Microsoft Excel
- OriginLab 7.5

## 4.3 Popis experimentu

### 4.3.1.1 Příprava vzorků

Vzorky skládající se z testovací škály RGB T9.18 byly vyrobeny v různých minilabech, rozdílnými zobrazovacími technikami na odlišné druhy materiálů bez přiřazení profilu ve třech kopiích. Jedna kopie byla použita pro dlouhodobý test, druhá na urychlený test a třetí byla uložena ve tmě.

Testovací škála RGB T9.18 (Obr. 36 ) použitá v experimentu se skládá z 990 barevných polí, 729 z nich zastupuje barvový prostor RGB a zbylých 261 jsou důležité reprodukční odstíny.

**Tabulka 10** *Souhrn vzorků*

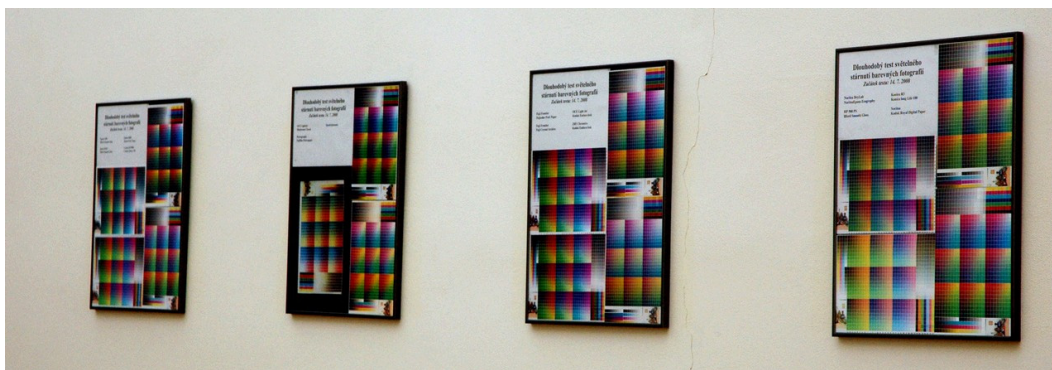
<i>Vzorek č.</i>	<i>Skupina</i>	<i>Zařízení</i>	<i>Reprodukční proces</i>	<i>Materiál</i>	<i>Zpracovatel</i>
1	Spotřebitelský inkjet	Epson 2400	Pigmentová sada MIS K4	Ilford Smooth Gloss	Fakulta chemická, BrnoCZ
2		Epson R220	Barvivová sada MIS Dyebase	Ilford Smooth Gloss	Fakulta chemická, Brno, CZ
3	Profesionální inkjet	Epson 9600	Pigmentová sada Ultrachrome	Epson Profesional Paper	Prodigi, Brno, CZ
4		Canon iPF5000	Pigmentová sada Lucia	Canon Glosy 190	Fotoškoda, Praha, CZ
5		Noritsu DryLab	Pigmentová sada	Noritsu Epson Ecography	Fotoškoda, Praha, CZ
6		HP 500 PS	Barvivová sada HP	Hewlett Packard	Fakulta chemická, Brno, CZ
7	Spotřebitelské minilaby	Konica R3	RA-4	Konica Long Life	Prodigi, Brno, CZ
8		Noritsu	RA-4	Kodak Royal Digital Paper	Kodak, Brno, CZ
9		Fuji Frontier	RA-4	Fujicolor Profesional Paper	Fosh Foto, Brno, CZ
10		Fuji Frontier	RA-4	Fuji Crystal Archive	OwenBoyd, Londýn, UK
11	Profesionální konečné zpracování	OCE Lightjet	RA-4	Kodak Endura Lesk	ThaliaPicta, Praha, CZ
12		ZBE Chromira	RA-4	Kodak Endura Lesk	Fotonova, Hronov, CZ
13		OCE Lightjet	P-3	Ilfochrome Classic	Owen Boyd, Londýn, UK
14		Pictography	Pictography	Fujifilm Pictropaper	Fuji Film, Bratislava, SK
15	Speciální procesy	Quadrichromie		Bezdřevý hlazený papír kartonového typu	Atelier Fresson, Paříž, FR

## 4.4 Typy testů

### 4.4.1.1 Dlouhodobý test světlostálosti

Sada patnácti vzorků (Tabulka 10) určených na dlouhodobý test byla proměřena na spektrofotometru Gretag MacBeth™ Spektrolino, byla adjustována do rámců (Obr. 31 ) a

vystavena na slunečné chodbě dne 14.7.2008. Následně byly vzorky měřeny jednou za měsíc v letním období a jednou za 2–3 měsíce v zimním období, tyto intervaly byly zvoleny v závislosti na intenzitě osvětlení v průběhu roku.



**Obr. 31** Umístění vzorků v rámech na chodbě

#### 4.4.1.2 Urychlený test světlostálosti

Připravené vzorky byly umístěny ve xenonové testovací komoře Q-Sun Model Xe-1-B (Obr. 32) s xenonovou výbojkou a „okenním“ filtrem a byly vystaveny UV a VIS záření (podmínky testu Tabulka 11). Sada vzorků určených pro urychlené stárnutí byla proměřena před expozicí na spektrofotometru Gretag MacBeth Spektrolino, byly ukládány odrazová spektra a z nich vypočtené  $L^*a^*b^*$ . Pro inkjetové materiály byla první desetihodinová expozice rozdělena na poloviny ( $2 \times 5$  h), aby byl zaznamenán počáteční trend úbytku. Pro ostatní materiály byla i první expozice 10 h, protože nebyly předpokládány rapidní změny. Vzorky tedy byly měřeny v intervalech (pro inkjetové materiály 5) 10, 20, 30, 40 a 50 hodin. Testovací škály byly otáčeny o  $180^\circ$  po směru hodinových ručiček při každé expozici, kvůli vyrovnaní intenzity dopadajícího záření.

**Tabulka 11** Nastavení sluneční komory při testu urychleného stárnutí

Parametr	Hodnota
Teplota černého panelu	63 °C
Intenzita ozáření při 420 nm	$0,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$
Expoziční čas	10 h



**Obr. 32** Umístění vzorku ve sluneční komoře

## 4.5 Měření vzorků

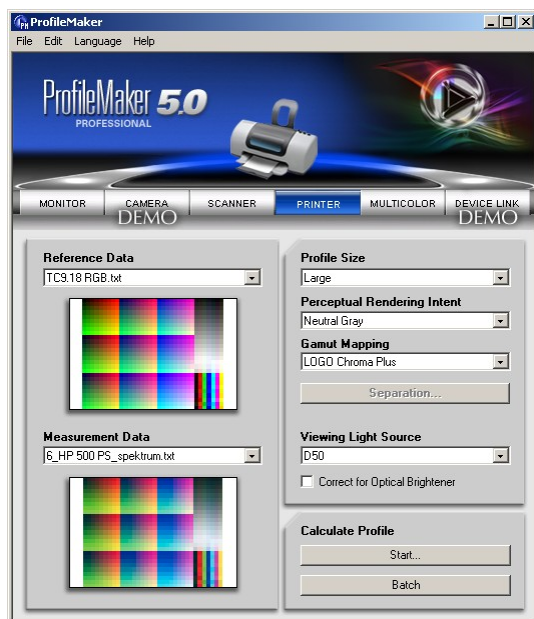
### 4.5.1.1 Kolorimetrie

V dlouhodobém i krátkodobém testu světlostálosti barevných fotografií byly škály měřeny spektrofotometrem Gretag MacBeth<sup>TM</sup> Spektrolino, bez použití filtru, s pomocí aplikace Gretag MacBeth<sup>TM</sup> Measure Tool 5.0.5. Byly ukládány odrazová spektra a z nich vypočtené  $L^*a^*b^*$  hodnoty.



Obr. 33 *Spektrofotometr Gretag MacBeth<sup>TM</sup>*

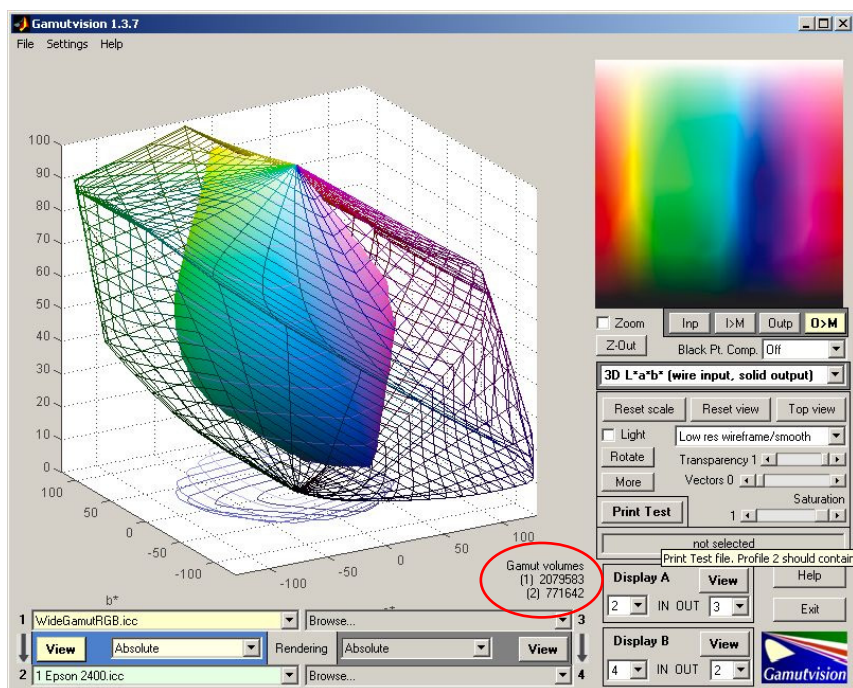
V aplikaci Gretag MacBeth<sup>TM</sup> Profile Maker 5.0.5 byly z naměřených odrazových spekter vytvořeny ICC profily.



Obr. 34 *Nastavení programu Gretag MacBeth<sup>TM</sup> Profile Maker 5.0.5 pro tvorbu ICC profilu*

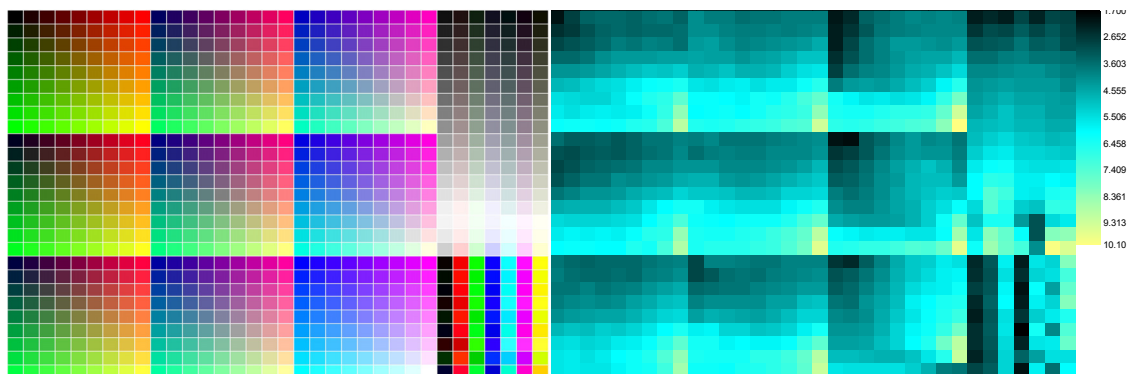
Tyto byly v programu Imatest Gamutvision<sup>TM</sup> vizualizovány a byl vypočítán objem gamutu. Tento postup byl aplikován při každém měření, na každý vzorek. Nastavení programu na Obr. 34 .





**Obr. 35** Nastavení programu Gamutvision, v červeně vyznačeny jsou objemy gamutů, první je objem širokého RGB gamutu, druhý je objem gamutu vzorku

Z hodnot  $L^*a^*b^*$  byly v Microsoft Excel vypočteny barvové odchylky  $\Delta E$  a jejich četnost. Barvové odchylky  $\Delta E$  byly vypočteny (14) jako rozdíl naměřených hodnot vzorku před expozicí a měření po 640 dnech expozice. Tato data byla importována do programu OriginLab<sup>®</sup> 7.5, kde byly vytvořeny mapy barvových odchylek. Na mapě jedno pole odpovídá stejnému poli na testovací škále RGB T9.18. Maximální hodnoty barvových odchylek se liší od vzorku, jsou vždy označeny světle žlutou, minimální černou a azurové odstíny označují střední hodnoty. Každá mapa obsahuje stupnici barevných odstínů a jim příslušející barvové odchylky.



**Obr. 36** Vpravo škála RGB T9.18, vlevo zpracovaná mapa barvových odchylek se stupnicí barvových odchylek



**Tabulka 12** *Hodnocení rozdílu barev*<sup>28</sup>

<i>Hodnota <math>\Delta E^*_{ab}</math></i>	<i>Barevný rozdíl</i>
0,5–2	rozdíl vnímaný jako barevná shoda
2–4	rozdíl barev vnímatelný jen při přímém porovnání
4–8	rozdíl barev vnímatelný i když není možné přímé porovnání
> 8	výrazný rozdíl barev

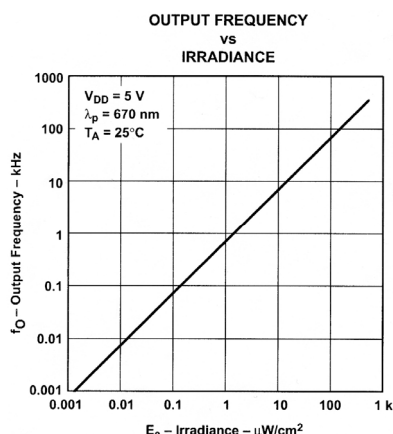
V programu OriginLab<sup>®</sup>7.5 byly také zpracovány grafy úbytků normalizovaných objemů gamutů v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří.

Hodnoty ekvivalentního stáří  $S$  udávané ve dnech, byly vypočteny dle rovnice (29), jako dopadající intenzita osvětlení přepočtená na průměrný den (450 lx/12 hod).

$$S = \frac{H}{450 \cdot 12} \quad (29)$$

#### 4.5.1.2 Radiometrie

V referenčním rámu byl na začátku testu umístěn kalibrační senzor, připojený na digitální multimetr. Kalibrační senzor Taos<sup>™</sup> TSL235 je zařízení, které převádí intenzitu ozáření na frekvenci v lineárně v rozsahu pěti řádů (Obr. 37).



**Obr. 37** *Graf linearitě frekvence k intenzitě ozáření*

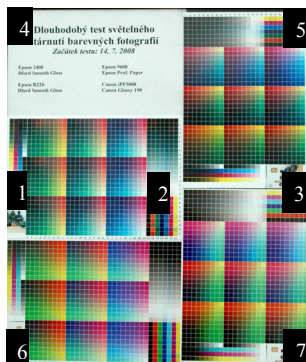
Kalibrace světelného senzoru se uskutečňovala měřením intenzit ozáření v UV a VIS oblasti a intenzit osvětlení ve VIS oblasti radiometry na každém rámu se vzorky na sedmi místech (Obr. 39 ). Kalibrován byl každý týden měřením radiometry, pro získání reálných podmínek osvětlení a ozáření v průběhu roku.



**Obr. 38** *Radiometry. Vlevo: X97 Irradiance Meter se sondou X9-7, vpravo: X11 Optometr se sondou XD-950*

Pro každý rám byly na sedmi určených místech (Obr. 39 ) měřeny tyto hodnoty:

- intenzita ozáření v UV oblasti  $E_e^{UV}$
- intenzita ozáření ve VIS oblasti  $E_e^{VIS}$
- intenzita osvětlení  $E$



**Obr. 39** Určené pozice měření intenzit na rámech

Hodnoty intenzit ozáření v UV a VIS oblasti v této diplomové práci kvůli rozsahu nebyly použity, výsledky byly vztahovány jen k intenzitě osvětlení.

Naměřené hodnoty intenzit osvětlení a hodnoty frekvencí v čase  $t$  byly dány do poměru a byl vypočítán koeficient intenzity osvětlení na 1 kHz (30).

$$y = \frac{E}{\nu_t} \quad (30)$$

Týdenní hodnoty koeficientů byly zprůměrovány a byl získán měsíční koeficient pro každý rám.

Ze 6–9 měření uvedených koeficientů, byla vypočítána průměrná měsíční hodnota koeficientu. Příslušné hodnoty intenzit osvětlení byly vypočteny ze sbíraných hodnot frekvencí. Intenzity osvětlení byly vypočítané pro minutové intervaly.

$$E = \bar{y} \cdot \nu_i \quad (31)$$

Ze získaných hodnot intenzit osvětlení byl vypočítán příslušný osvit (32).

$$H_i = E_i \cdot t_i \quad (32)$$

Sumováním jednotlivých osvitů v průběhu každého týdne byly získané celkové týdenní osvity (33).

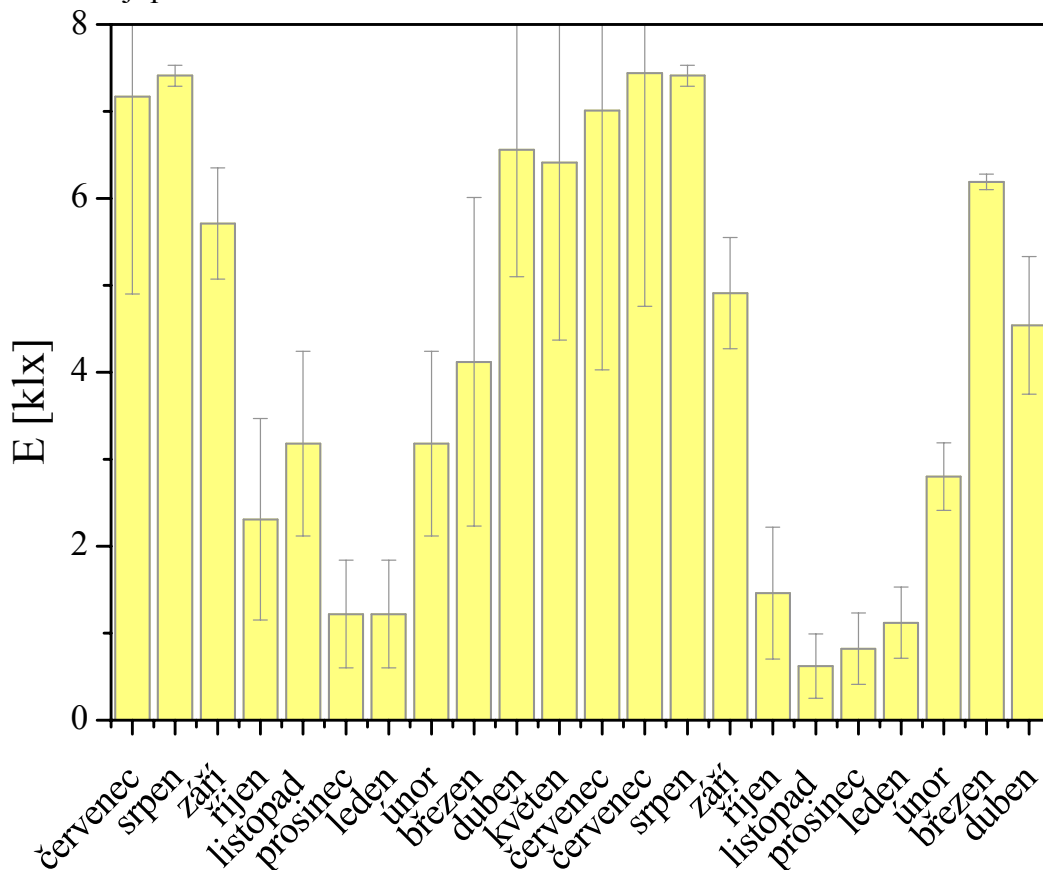
$$H = \sum_{i=1}^{10080} H_i \cdot \Delta t_i \quad (33)$$

Také byly vypočteny přepočítávací koeficienty pro každý rám ze srovnávacích měření intenzit osvětlení, protože osvitové podmínky pro každý rám se mírně liší. Integrované hodnoty osvitu byly za pomoci přepočítávacích koeficientů upraveny pro každý rám (34).

$$y_j = \frac{\bar{y}_j}{\bar{y}} \quad (34)$$

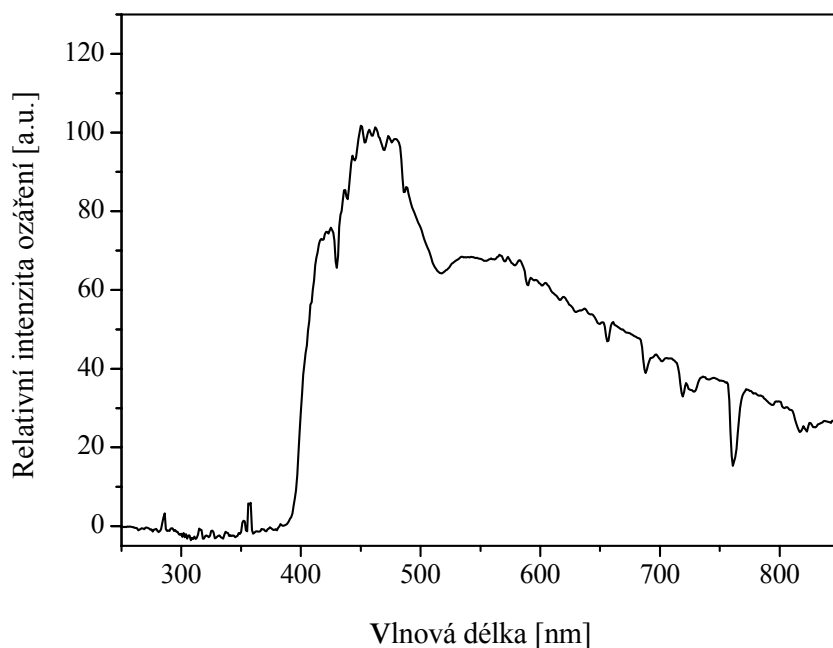
Jak již bylo řečeno podmínky na chodbě byly dlouhodobě monitorovány. Přehled naměřených dat v průběhu celého testu od července 2008 do dubna 2010. (Obr. 40 )

Nejvyšší hodnoty intenzit osvětlení byly v červenci a srpnu v obou letech. Průměrně se jarní a letní hodnoty intenzit osvětlení pohybovaly okolo 7 klx. Zimní hodnoty intenzit osvětlení mají průměrně 1 klx.



**Obr. 40** Přehled intenzit osvětlení od července 2008 do dubna 2010 (pro duben 2010 je intenzita osvětlení pro dva první týdny)

Spektrum světla na chodbě bylo proměřeno za použití spektrometru Ocean Optics Red Tide USB650 a softwaru Ocean Optics Spectra Suite. Protože jsou vzorky umístěny v rámech se sklem, bylo proměřeno spektrum světla na chodbě propuštěného sklem z rámu (Obr. 41 ).

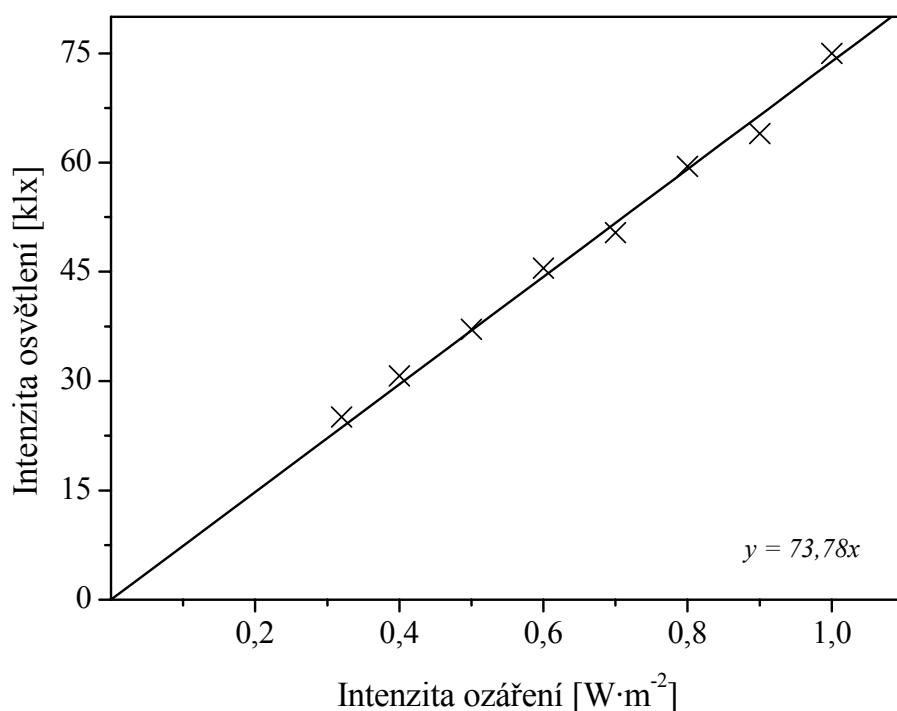


**Obr. 41** Spektrum osvětlení naměřeného na chodbě

Pro porovnání světelných podmínek s chodbovými podmínkami byla změřena hodnota intenzity osvětlení v xenonové testovací komoře optometrem se sondou XD-950 při nastavených hodnotách ozáření 0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

**Tabulka 13** Naměřené hodnoty intenzit osvětlení odpovídající nastaveným hodnotám intenzit ozáření

Intenzita ozáření [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ ]	Intenzita osvětlení [klx]
1,0	75,0
0,9	64,0
0,8	59,5
0,7	50,4
0,6	45,5
0,5	37,1
0,4	30,7
0,32	25,1



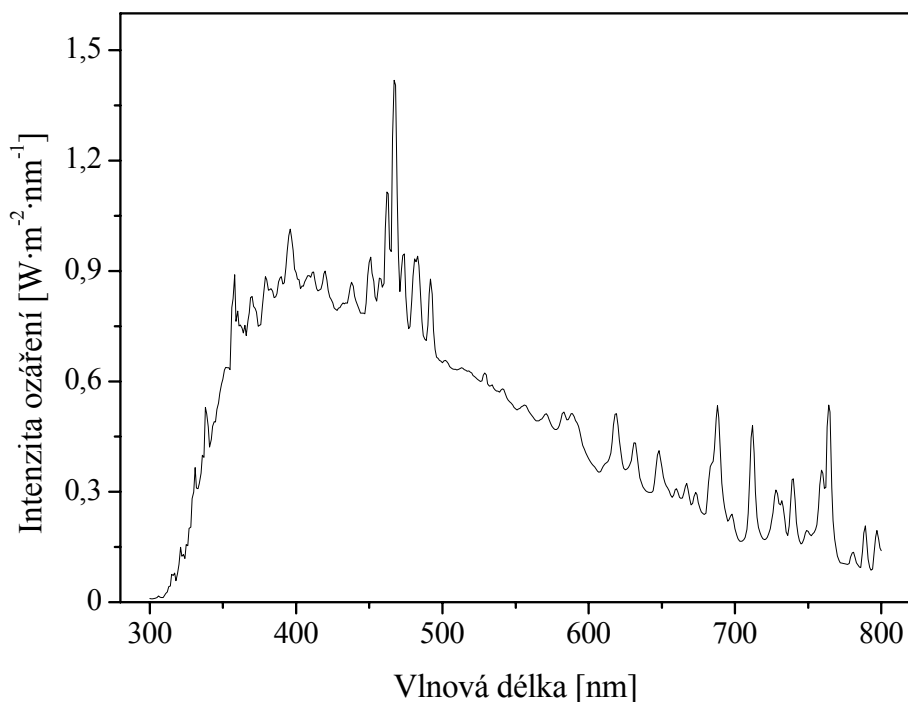
**Obr. 42** Kalibrační křivka intenzit ozáření a osvětlení z testovací xenonové komory

Pro určení integrální dávky ve sluneční komoře bylo za použití spektrometru a softwaru Spectra Suite naměřeno spektrum relativních intenzit xenonové výbojky filtrované okenním sklem  $E_r$ . Tyto naměřené relativní intenzity byly normalizovány  $E_n$  (poděleny nejvyšší intenzitou  $E_{\max}$ ) podle rovnice (35), a poté vynásobeny konstantou (36) tak, aby při vlnové délce 420 nm se intenzita ozáření  $E_i$  rovnala  $0,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Z těchto hodnot bylo vytvořeno spektrum filtrované xenonové výbojky (Obr. 43). Podle Standard Practice F 2366–05 má být intenzita ozáření v rozmezí 300–800 nm  $490 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .<sup>10</sup> Sumarizací intenzit podle rovnice (37) však byla zjištěna celková intenzita  $248,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

$$E_{n,i} = \frac{E_{r,i}}{E_{\max}} \quad (35)$$

$$E_i = E_{n,i} \cdot \text{konst.} \quad (36)$$

$$E = \sum_{300 \text{ nm}}^{800 \text{ nm}} E_i \quad (37)$$



**Obr. 43** Naměřené spektrum xenonové výbojky filtrované okenním sklem

#### 4.5.1.3 Statistické zpracování dat

V čase  $t_1, t_2, \dots, t_n$  byly vizualizovány ICC profily a byly odečteny jejich objemy gamutů, tyto byly přepočteny na procenta o hodnotách  $y_1, y_2, \dots, y_n$ . Objemům gamutů příslušely dané hodnoty osvětlení  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Protože,  $y_i=100$  data jsou proložena přímkou ve tvaru:

$$y = 100 - ax \quad (38)$$

Kde  $a$  je určeno metodou nejmenších čtverců, tedy tak, aby minimalizovalo funkci.

$$F(a) = \sum_{i=1}^N (100 - ax_i - y_i)^2 \quad (39)$$

A  $a$  je tedy rovno:

$$a = \frac{100 \sum_{i=1}^N x_i - \sum_{i=1}^N x_i y_i}{\sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (40)$$

Pro daný bod  $x_i$  platí:

$$\frac{(100 - ax_i - y_i)^2}{y_i^2} \quad (41)$$

Kvadratická odchylka daného bodu od přímky je relativní vůči velikosti  $y_i$ . Aritmetický průměr těchto čísel je odmocněn a je získána míra vhodnosti  $S$ . (42)

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(100 - ax_i - y_i)^2}{y_i^2}} \quad (42)$$

Pokud je hodnota  $S$  blízko nule, znamená to, že je lineární regrese vhodná ( $S = 0$  znamená, že body leží na přímce). Pokud však  $S$  nabývá hodnoty 1, znamená to, že data s přímkou nemají žádný vztah.

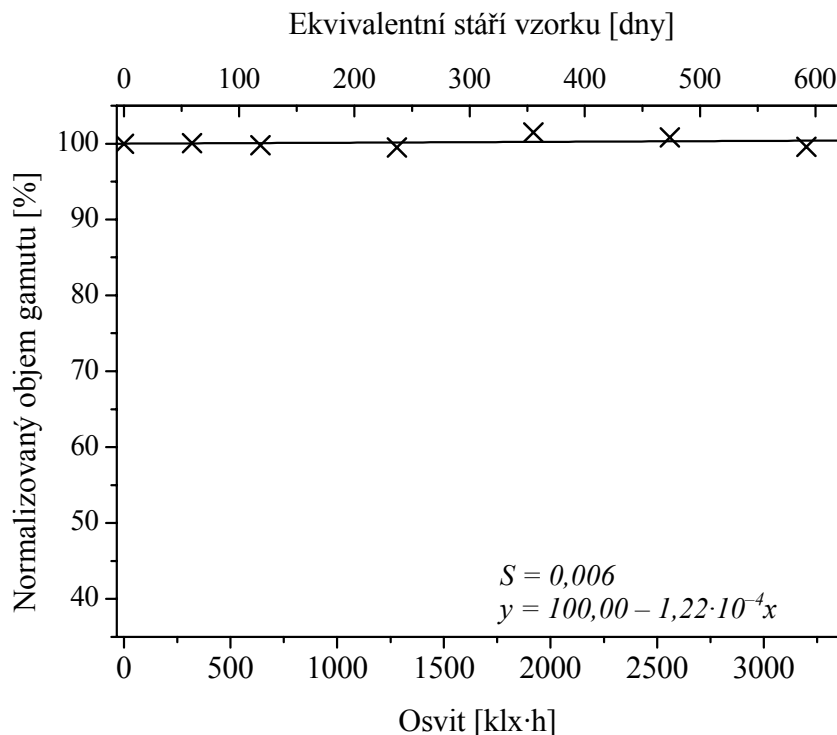
## 5 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 5.1 Urychlený test světlostálosti

Vzorky byly podrobeny stárnutí v xenonové testovací komoře Q-Sun. Podmínky testu viz. Tabulka 11. Změny objemů gamutů jsou vyneseny pro každý vzorek zvlášť, v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří.

#### 5.1.1 Spotřebitelský inkjet

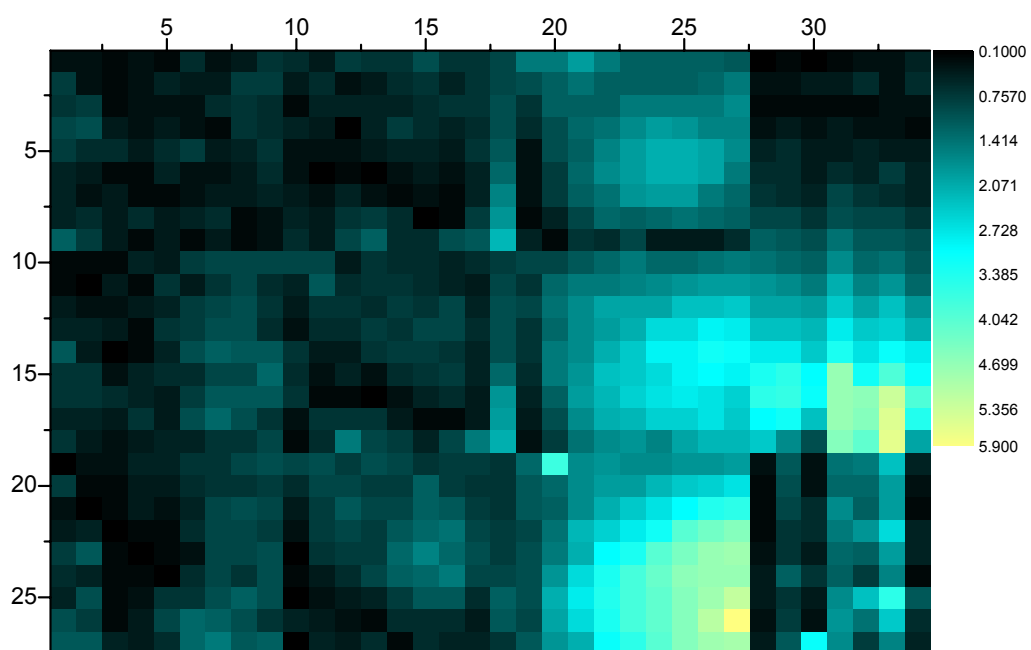
##### 5.1.1.1 Vzorek č.1 zhotovený na tiskárně Epson 2400 na materiál Ilford Smooth Gloss



**Obr. 44** Úbytek objemu gamutu vzorku č.1 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

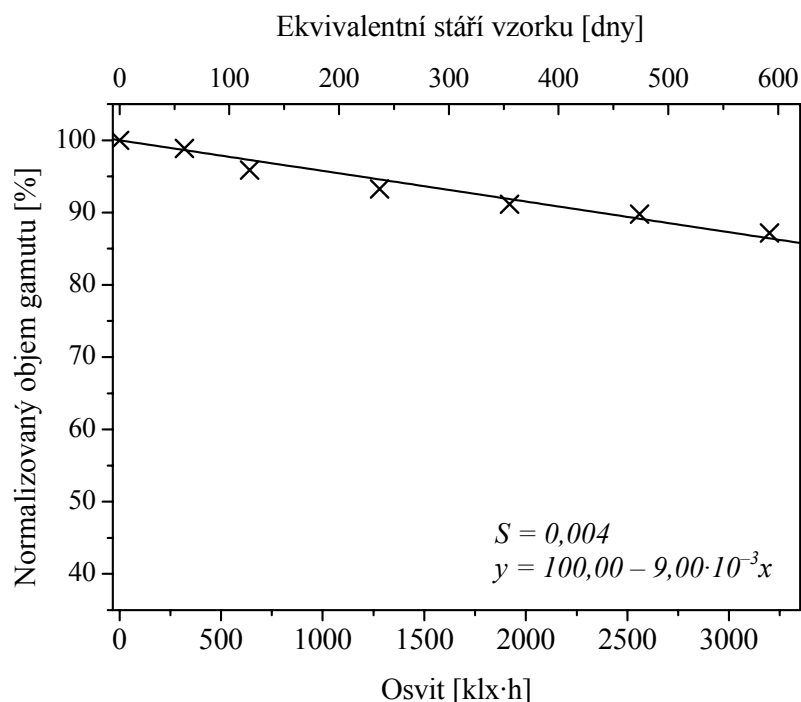
Celkový úbytek objemu gamutu je 1%. Z mapy barvové odchylky plyne, že největší četnost mají nízké hodnoty barvových odchylek. Maximální hodnota  $\Delta E$  byla vypočtena na 5,9 a vyskytuje se v purpurových odstínech s vysokou hodnotou jasu. Střední a vysoké hodnoty jasu jsou lokalizovány v oblastech purpurových odstínů a jejich přechodu do modré. Podle hodnocení barvové odchylky (Tabulka 12) je barevný rozdíl vnímán i bez přímého porovnání s referenčním vzorkem.





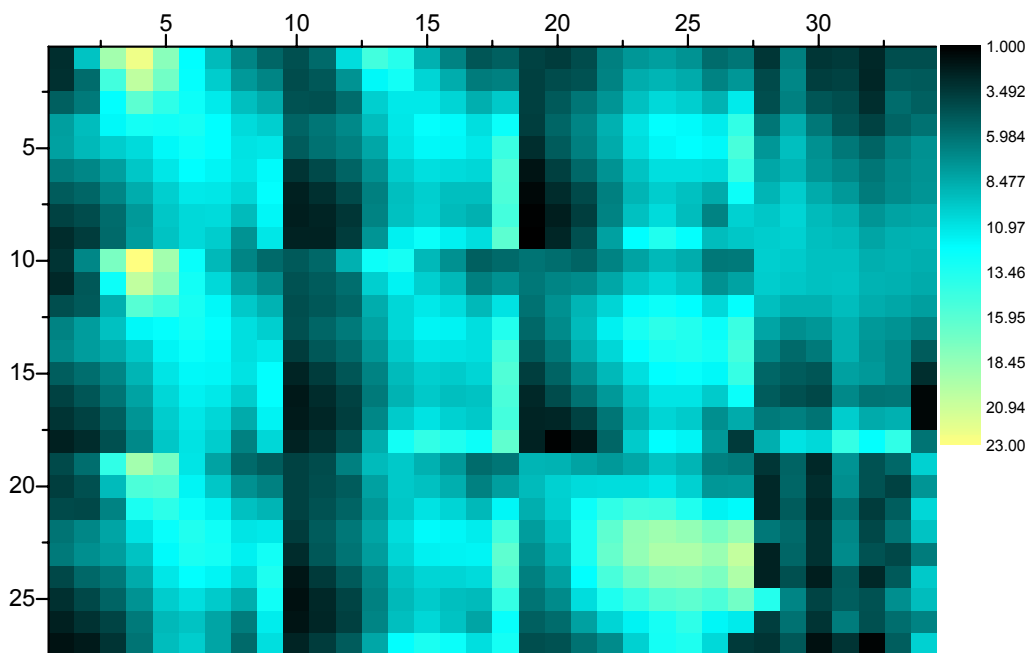
**Obr. 45** *Mapa barvových odchylek vzorku č.1*

### 5.1.1.2 Vzorek č.2 zhotovený na tiskárně Epson R220 na materiál Ilford Smooth Gloss



**Obr. 46** Úbytek objemu gamutu vzorku č.2 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

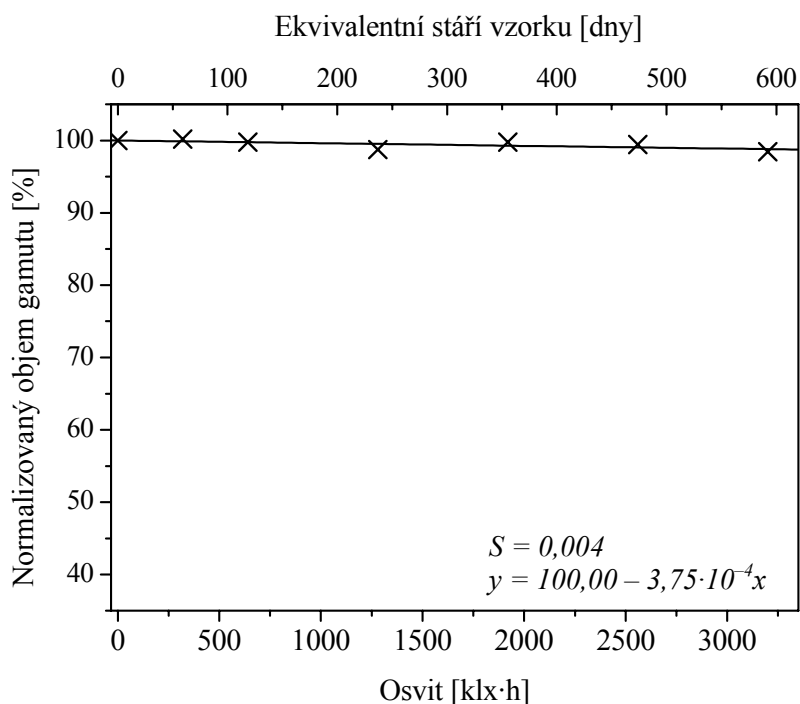
Celkový úbytek objemu gamutu tohoto vzorku je 13 %. Nejvyšší hodnota barvové odchylky je 23,0 a byla vypočtena pro tmavě červené pole. Největší četnost mají střední hodnoty  $\Delta E$  a vyskytují se v purpurových odstínech a jejich přechodu do zelených, modrých a azurových oblastí. Nejvyšší hodnota barvové odchylky naznačuje, že se jedná o velmi výrazný barevný rozdíl.



**Obr. 47** Mapa barvových odchylek vzorku č.2

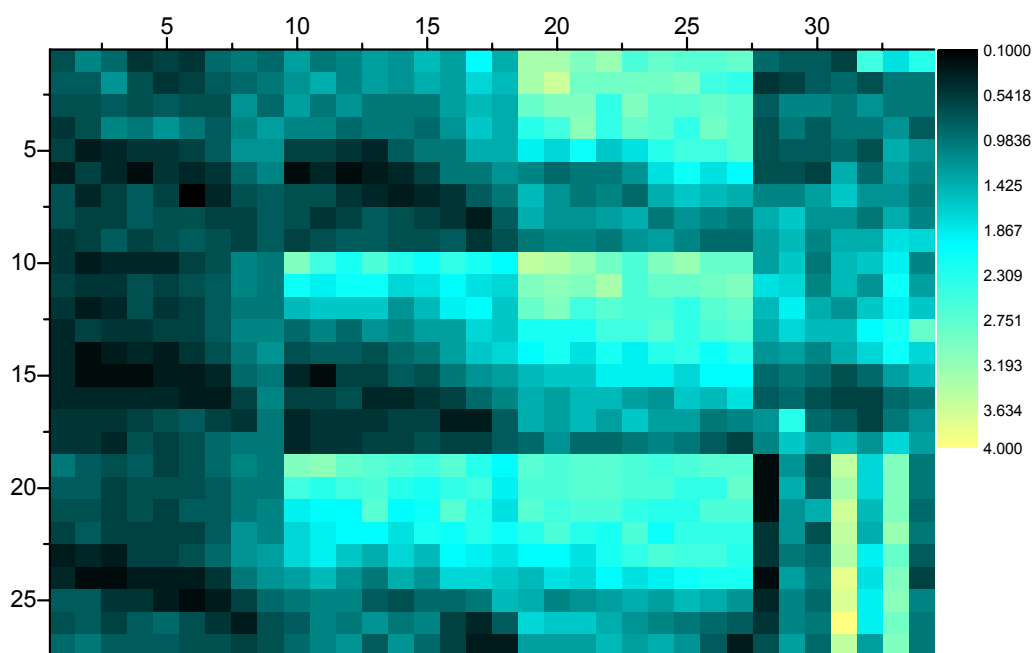
## 5.1.2 Profesionální inkjet

### 5.1.2.1 Vzorek č.3 zhotovený na tiskárně Epson 9600 na materiál Epson Professional Paper



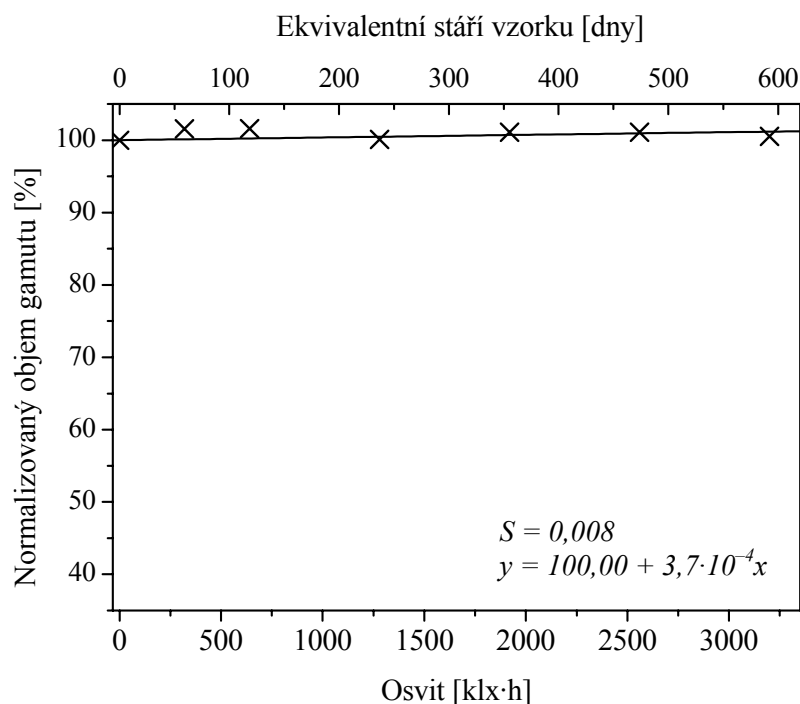
**Obr. 48** Úbytek objemu gamutu vzorku č.3 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

Změna obejmu normalizovaného gamutu byla k poslednímu měření o 2 % menší než na začátku testu. Nevyšší hodnota barvové odchylky je 4,0 a vyskytuje se v modrých odstínech. Největší četnost mají poměrně nízké hodnoty  $\Delta E$ . Střední a vysoké hodnoty barvových odchylek jsou lokalizovány v modrých a purpurových oblastech, také v jejich přechodu. Maximum barvové odchylky značí rozdíl barev pozorovaný už při přímém porovnání.



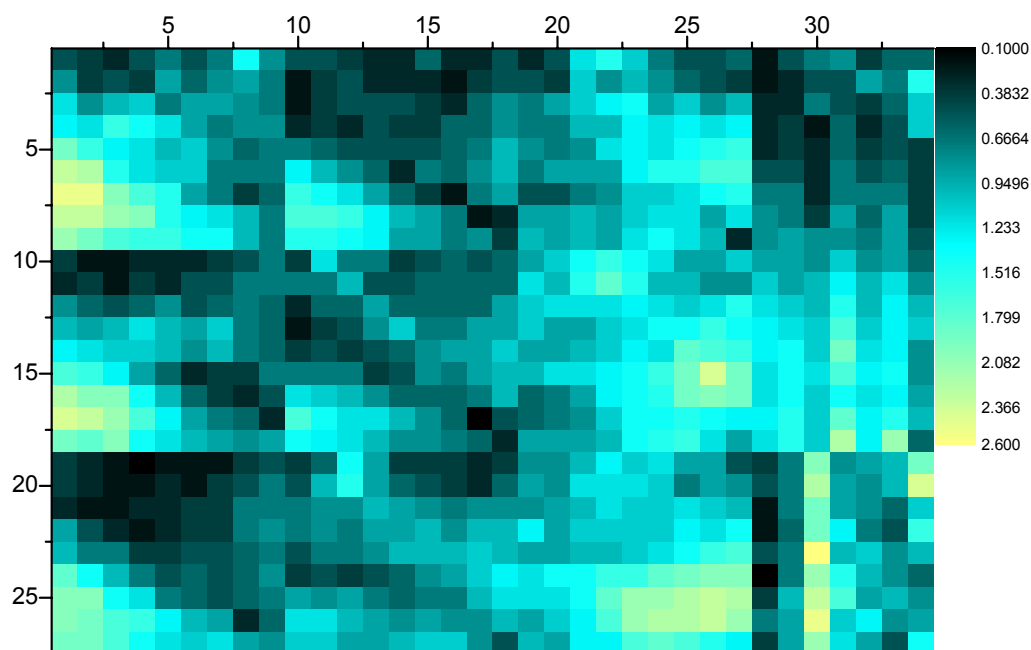
**Obr. 49** Mapa barvových odchylek vzorku č.3

### 5.1.2.2 Vzorek č.4 zhotovený zařízením Canon iPF5000 na materiál Canon Glosy 190



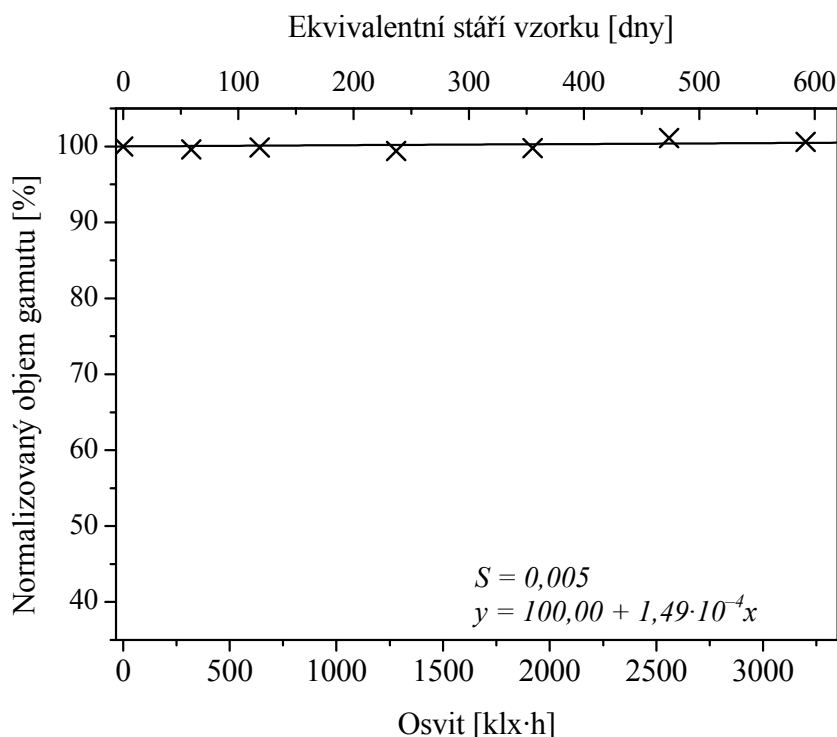
**Obr. 50** Úbytek objemu gamutu vzorku č.4 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

Objem normalizovaného gamutu u tohoto vzorku se v průběhu testu zvětšoval i zmenšoval, při posledním měření měl oproti počátku objem o 1 % větší. Nejvyšší hodnota  $\Delta E$  je 2,6 a byla vypočtena pro pole v čistě zelené škále. Střední a vysoké hodnoty barvových odchylek jsou lokalizovány převážně v zelených a azurovo-purpurových oblastech. Maximum barvové odchylky značí, že barevný rozdíl bude patrný jen při přímém porovnání vzorku a předlohy.



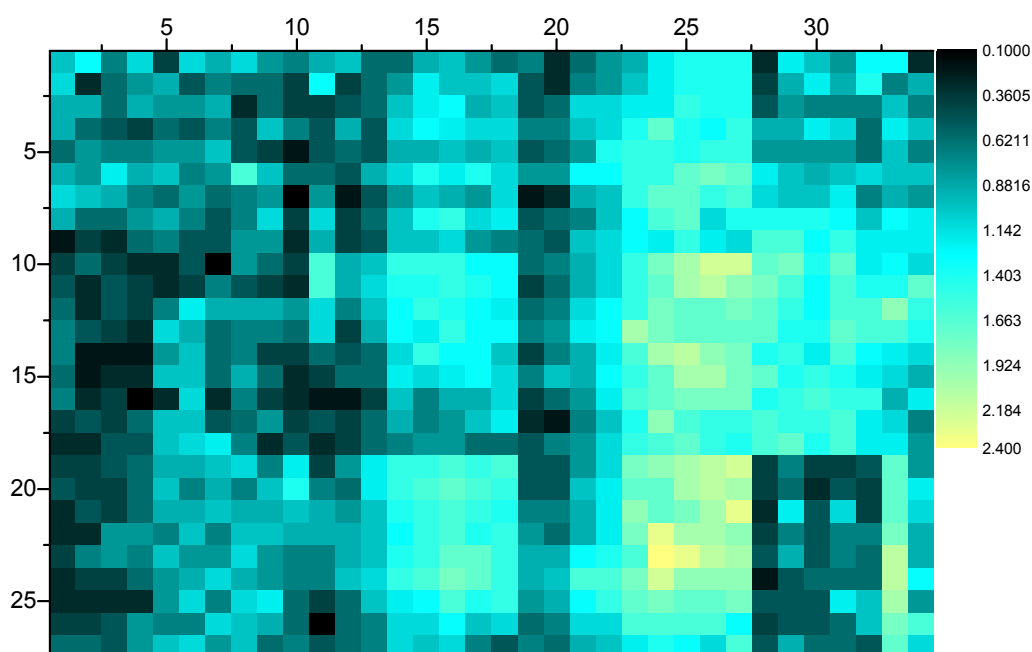
**Obr. 51** Mapa barvových odchylek vzorku č. 4

### 5.1.2.3 Vzorek č.5 zhotovený zařízením Noritsu DryLab na materiál Epson Ecography



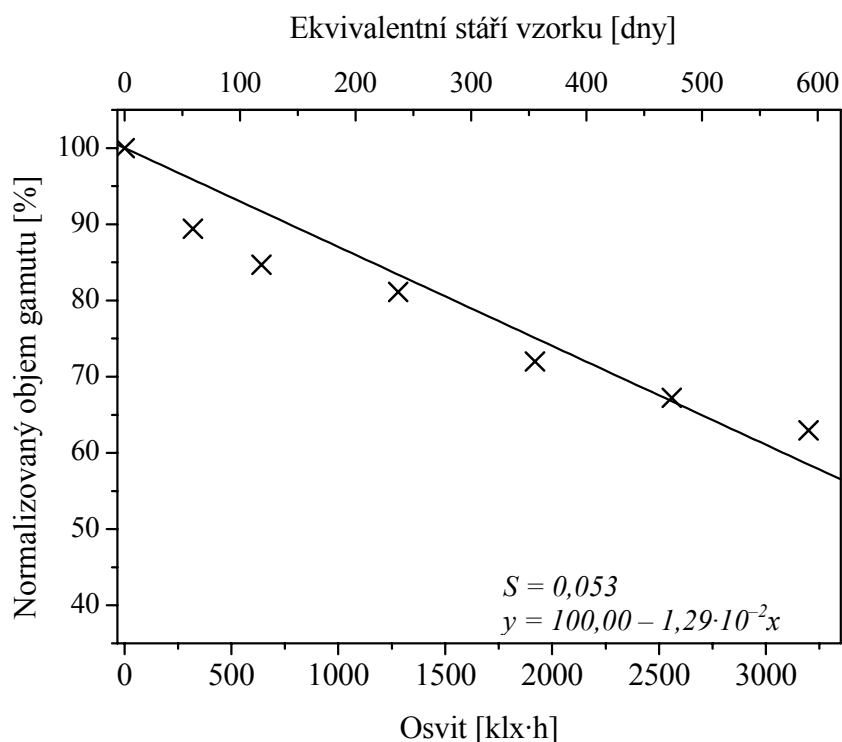
**Obr. 52** Úbytek objemu gamutu vzorku č.5 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

U tohoto vzorku se objem normalizovaného gamutu také zvětšoval, oproti počátku se zvětšil o 1 %. Nejvyšší vypočtená hodnota barvové odchylky je 2,4 pro modro-purpurové pole. Střední a vysoké hodnoty  $\Delta E$  se nacházejí v purpurových oblastech a také v oblasti škál s vysokými hodnotami jasu. Maximální hodnota barvové odchylky značí, že barevný rozdíl bude patrný jen při přímém porovnání vzorku a předlohy.



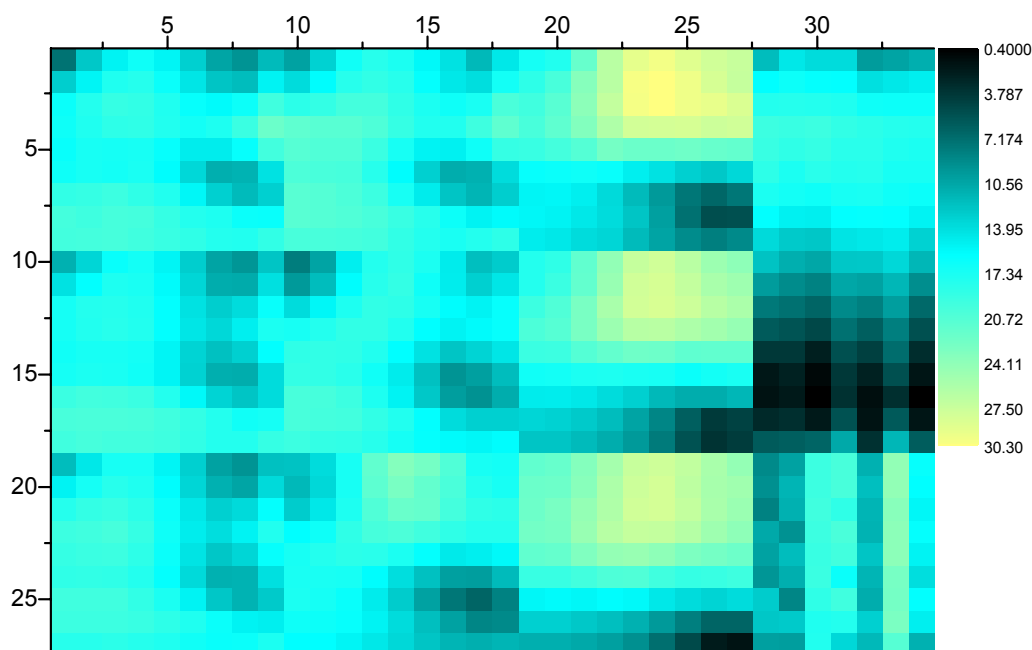
**Obr. 53** Mapa barvových odchylek vzorku č.5

#### 5.1.2.4 Vzorek č.6 zhotovený na zařízení HP 500PS na materiál Ilford Smooth Gloss



**Obr. 54** Úbytek objemu gamutu vzorku č.6 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

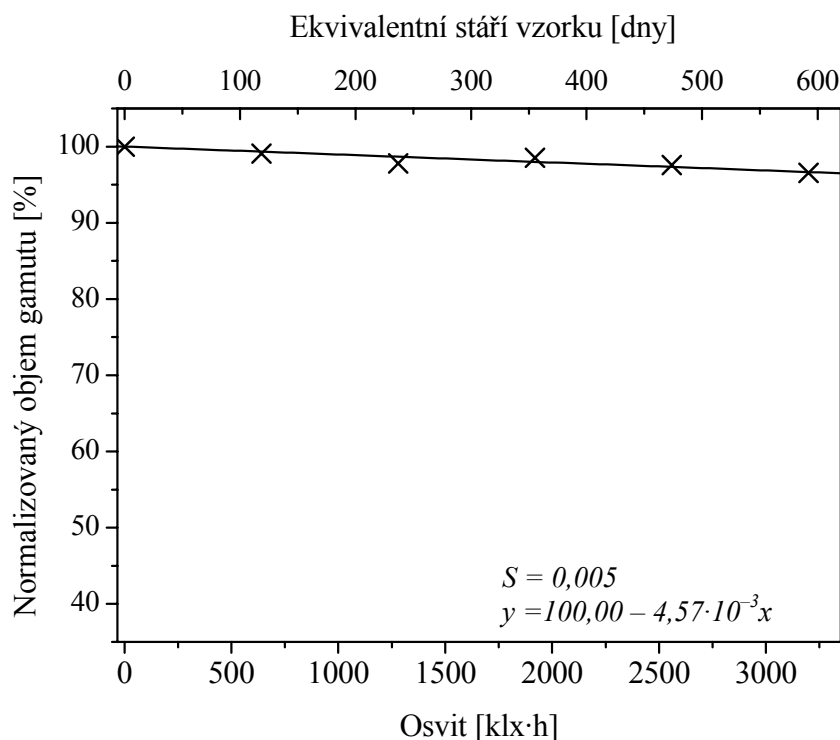
Celkový úbytek objemu gamutu je 38 %. Největší četnosti mají střední až vyšší hodnoty barvových odchylek. Vysoké hodnoty  $\Delta E$  společně s maximem 30,3 se nacházejí ve fialovo-purpurových oblastech s vysokými hodnotami jasu. Maximum barvové odchylky značí výrazný rozdíl barev.



**Obr. 55** Mapa barvových odchylek vzorku č.6

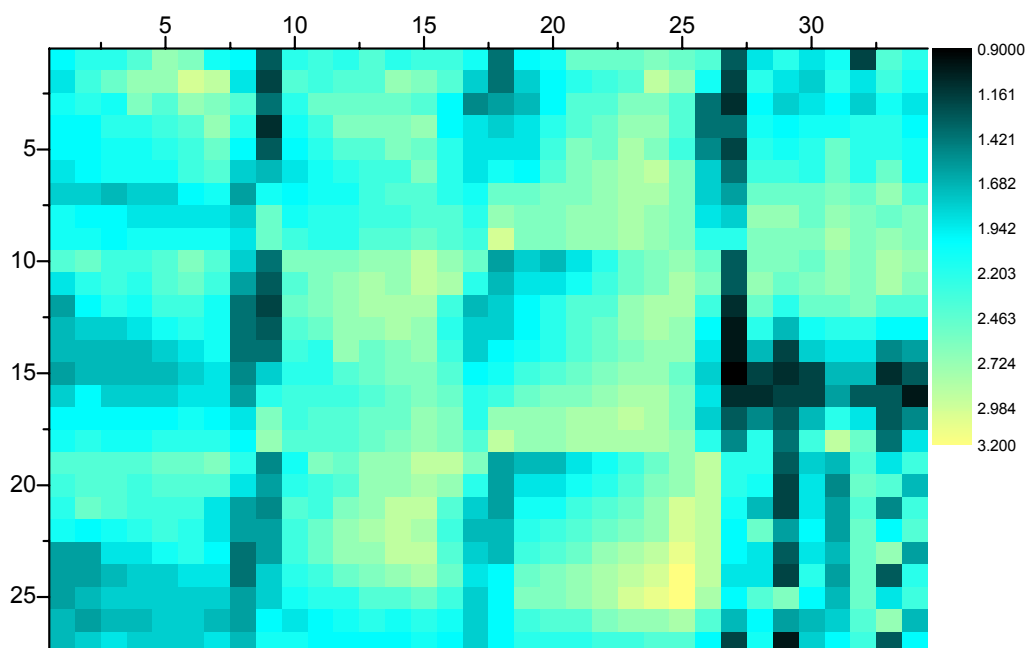
### 5.1.3 Spotřebitelské minilaby

#### 5.1.3.1 Vzorek č.7 zhotovený na zařízení Konica R3 na materiál Konica Long Life 100



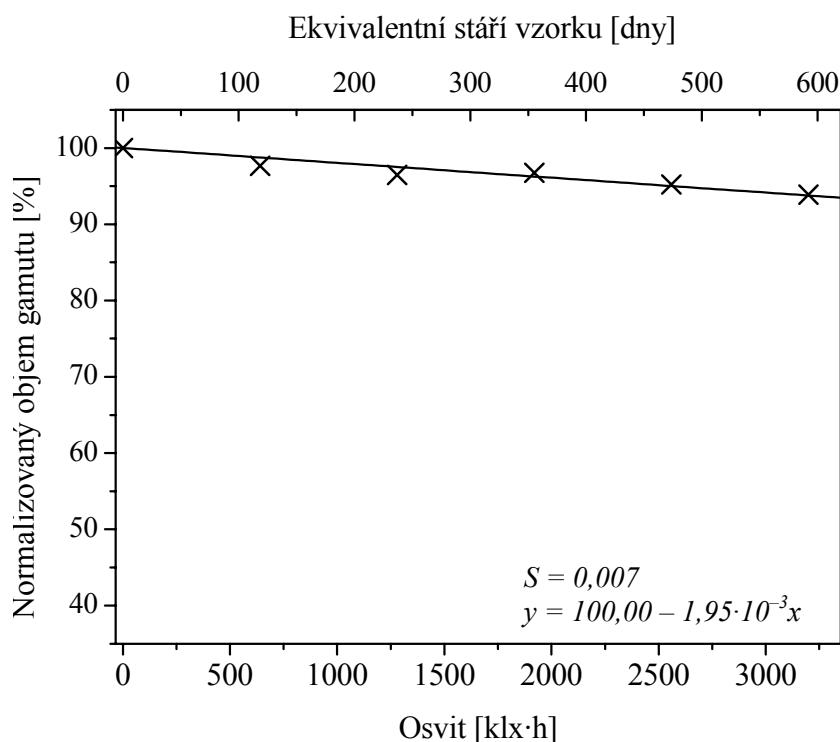
**Obr. 56** Úbytek objemu gamutu vzorku č.7 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

U tohoto vzorku se objem gamutu zmenšil v průběhu testu o 4 %. Maximální odchylka  $\Delta E$  byla vypočtena na 3,2 a nachází se v přechodu mezi azurovou a purpurovou s vysokou hodnotou jasu. Největší četnost mají vysoké až střední hodnoty barvových odchylek. Minimální  $\Delta E$  je lokalizována v červené a neutrální části škály a značí barevný rozdíl patrný při přímém porovnání.



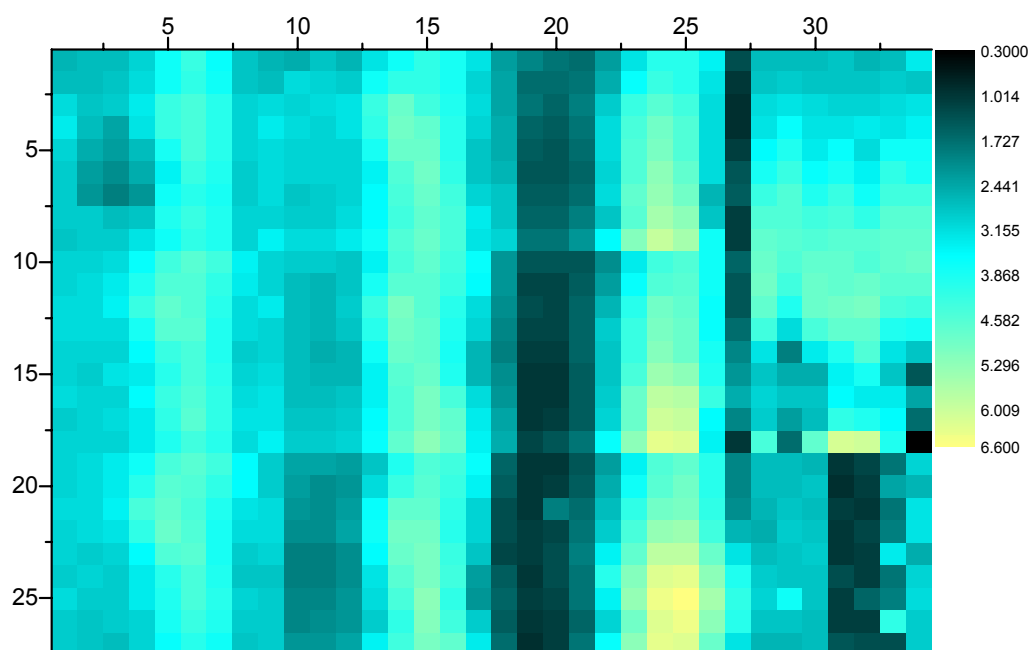
**Obr. 57** Mapa barvových odchylek vzorku č.7

### 5.1.3.2 Vzorek č.8 zhotovený na zařízení Noritsu na materiál Kodak Royal Digital Paper



**Obr. 58** Úbytek objemu gamutu vzorku č.8 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

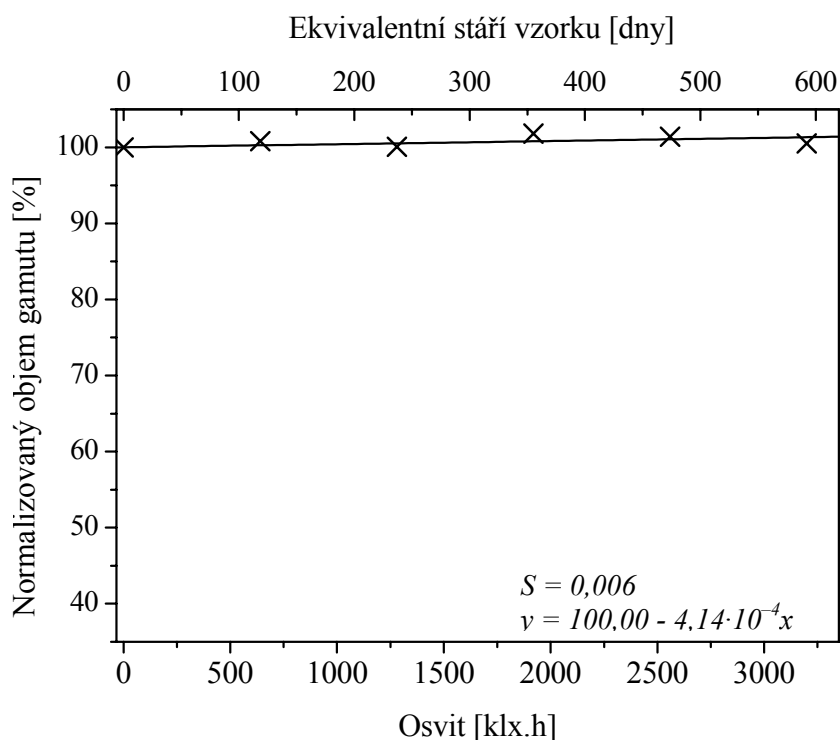
Objem normalizovaného gamutu vzorku č. 8 se v průběhu urychleného testu zmenšil o 7 %. Maximální  $\Delta E$  6,6 se spolu s vysokými hodnotami nachází v azurovo-purpurové oblasti s vysokými hodnotami jasu. Největší četnost barvových odchylek mají střední až vyšší hodnoty. Podle Tabulka 12 bude barevný rozdíl vnímán i bez přímého porovnání.



**Obr. 59** Mapa barvových odchylek vzorku č.8

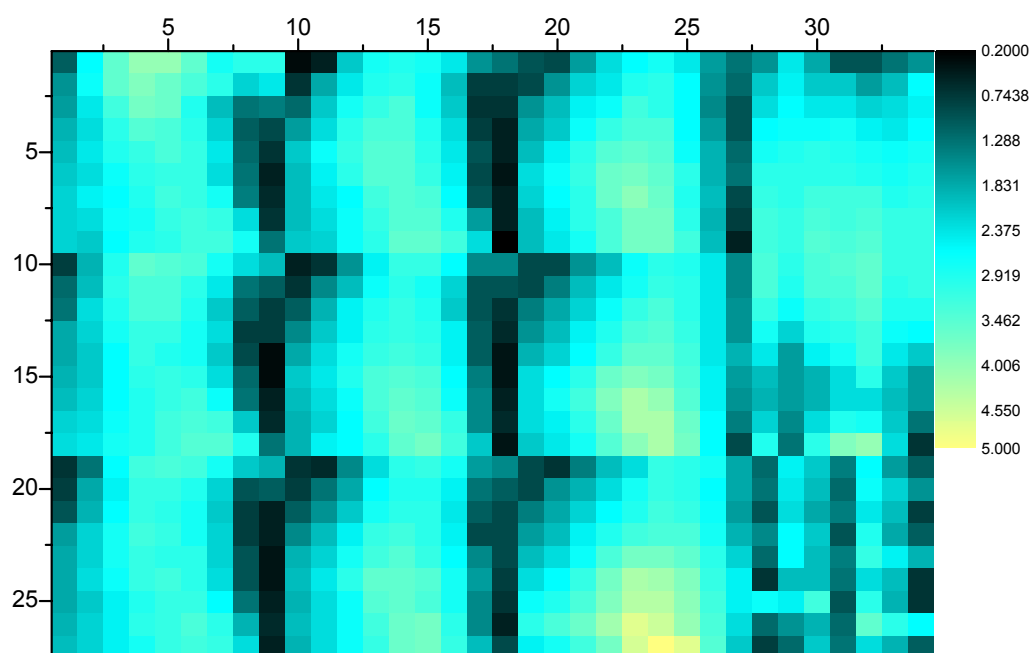


### 5.1.3.3 Vzorek č.9 zhotovený zařízením Fuji Frontier na materiál Fuji Color Professional Paper



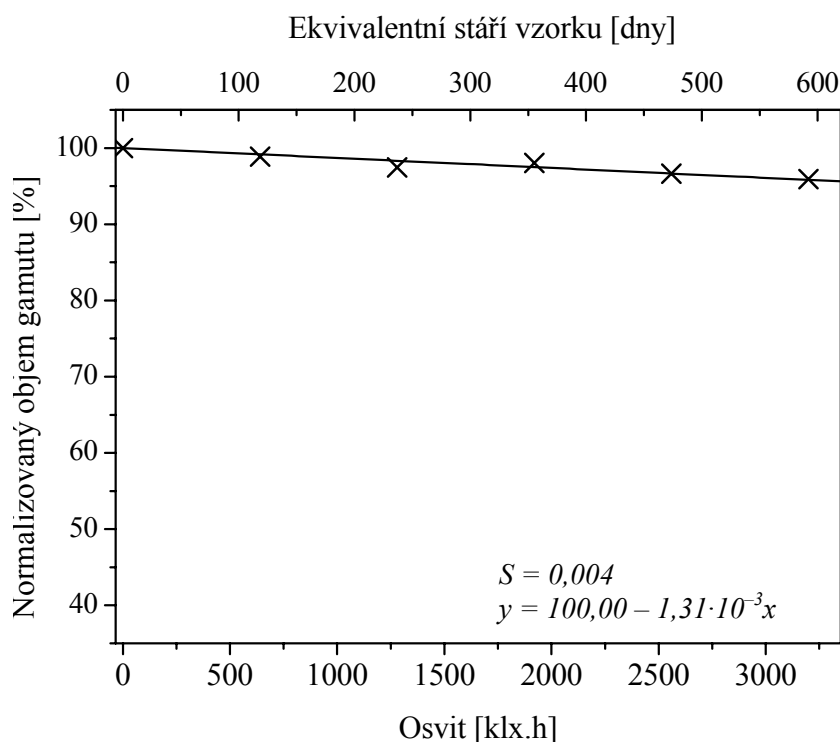
**Obr. 60** Úbytek objemu gamutu vzorku č.9 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

Objem normalizovaného gamutu se v průběhu urychleného testu zvětšoval i zmenšoval, nakonec se oproti počátku testu zvětšil o 1 %. Maximum  $\Delta E$  je 5,0 a nachází se v azurových odstínech s vysokými hodnotami jasu. Obecně lze říci, že u tohoto vzorku se nejvíce měnily odstíny ze střední až horní části osy nepestrosti. Podle Tabulka 12 bude barevný rozdíl vnímán i bez přímého porovnání.



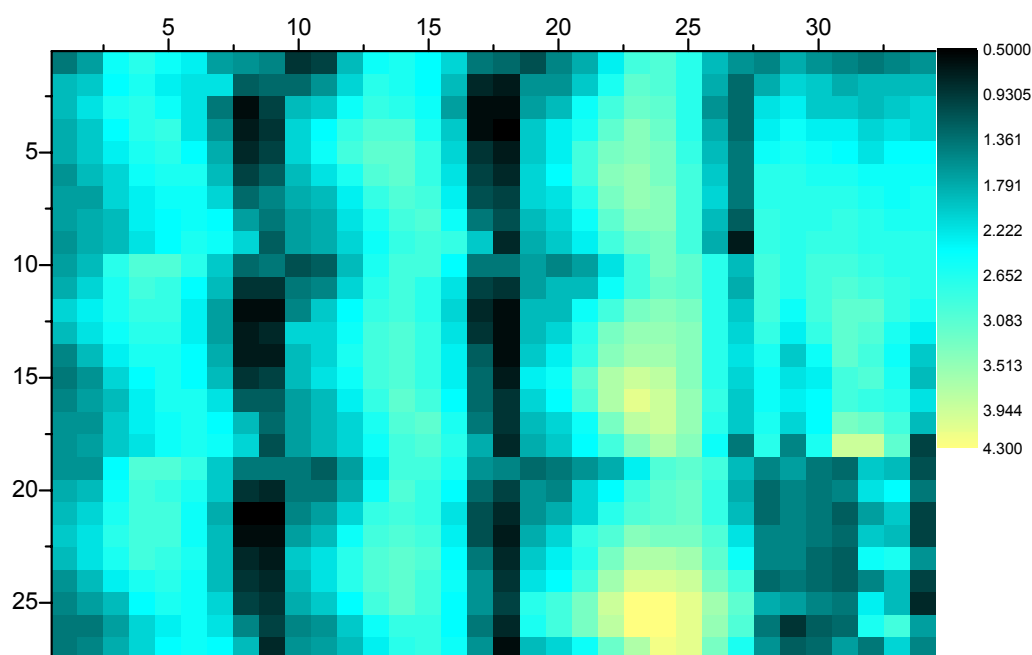
**Obr. 61** Mapa barvových odchylek vzorku č.9

#### 5.1.3.4 Vzorek č.10 zhotovený na zařízení Fuji Frontier na materiál Fuji Crystal Archive



**Obr. 62** Úbytek objemu gamutu vzorku č.10 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

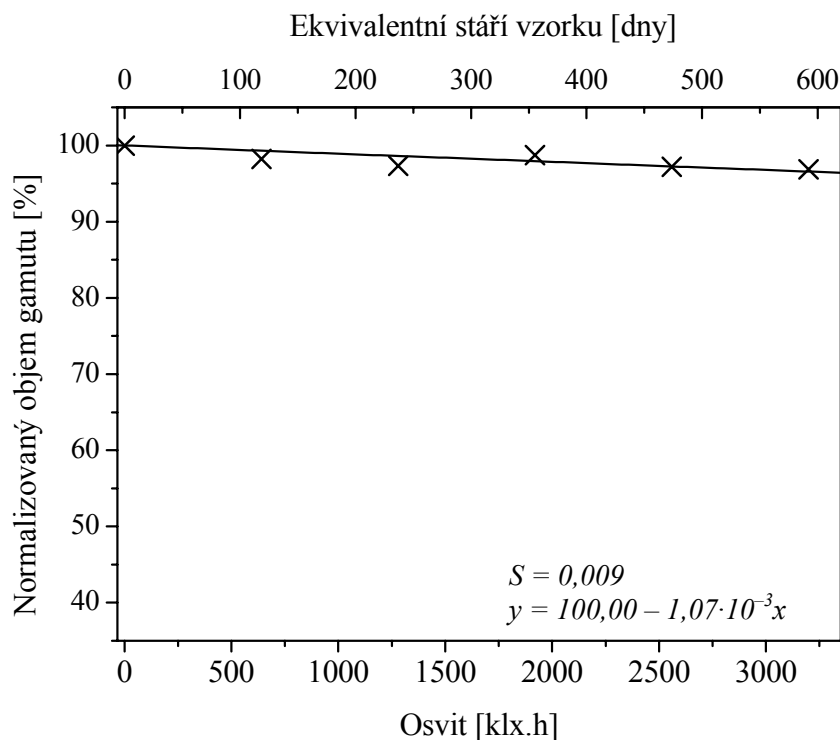
Celkový úbytek objemu normalizovaného gamutu je 4 %. Maximální  $\Delta E$  nabývá hodnoty 4,3 a nachází se v oblasti přechodu mezi azurovou a purpurovou s vysokými hodnotami jasu. Nejmenší barvové odchylky jsou u odstínů žluté, oranžové, červené, růžové a purpurové ze střední části osy nepestrosti. Podle orientační tabulky (Tabulka 12) bude barevný rozdíl vnímán i bez přímého porovnání.



**Obr. 63** Mapa barvových odchylek vzorku č.10

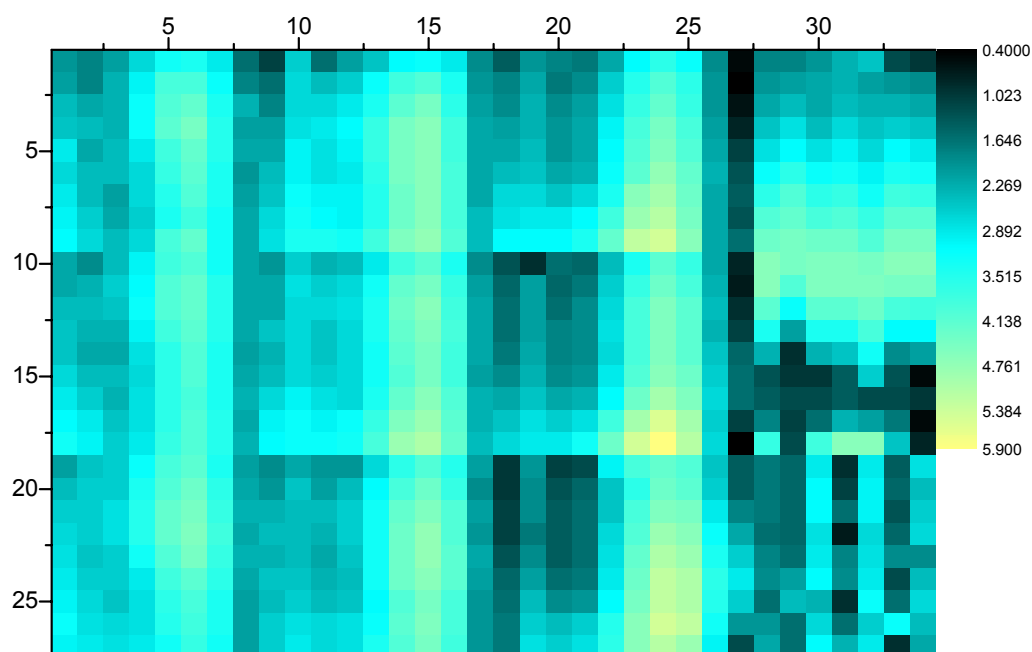
#### 5.1.4 Profesionální konečné zpracování

##### 5.1.4.1 Vzorek č.11 zhotovený na zařízení OCE LightJet na materiál Kodak Endura Lesk



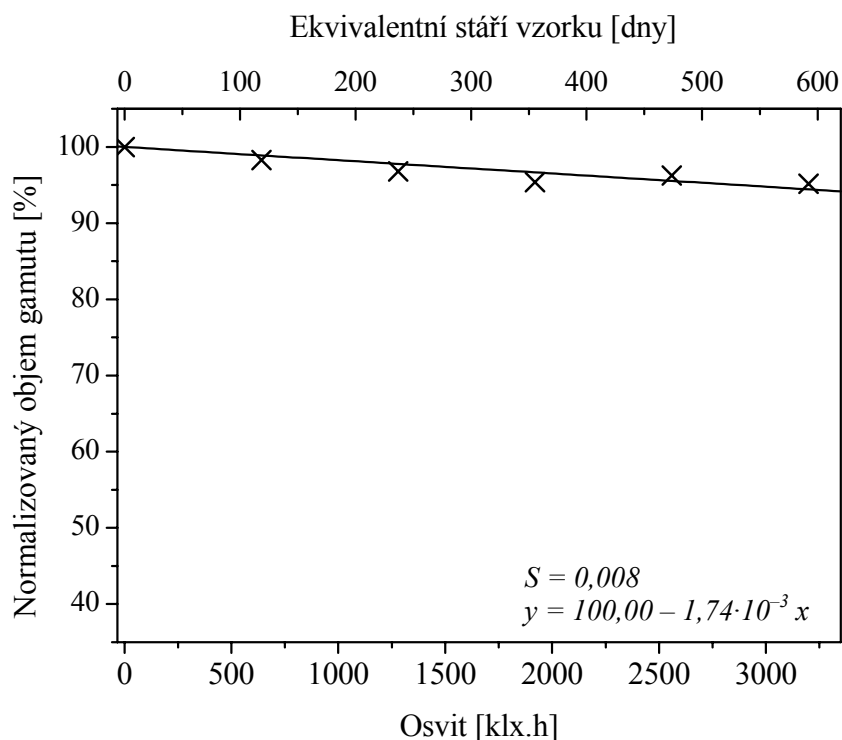
**Obr. 64** Úbytek objemu gamutu vzorku č.11 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

Od počátku testu se normalizovaný objem gamutu zmenšil o 5 %. Maximální barvová odchylka byla vypočtena na 5,9 na azurových polích. Největší četnost mají vysoké až střední hodnoty  $\Delta E$ . Velmi nízké barvové odchylky jsou v neutrální škále. Rozdíl barev je podle Tabulka 12 vnímán i bez přímého porovnání.



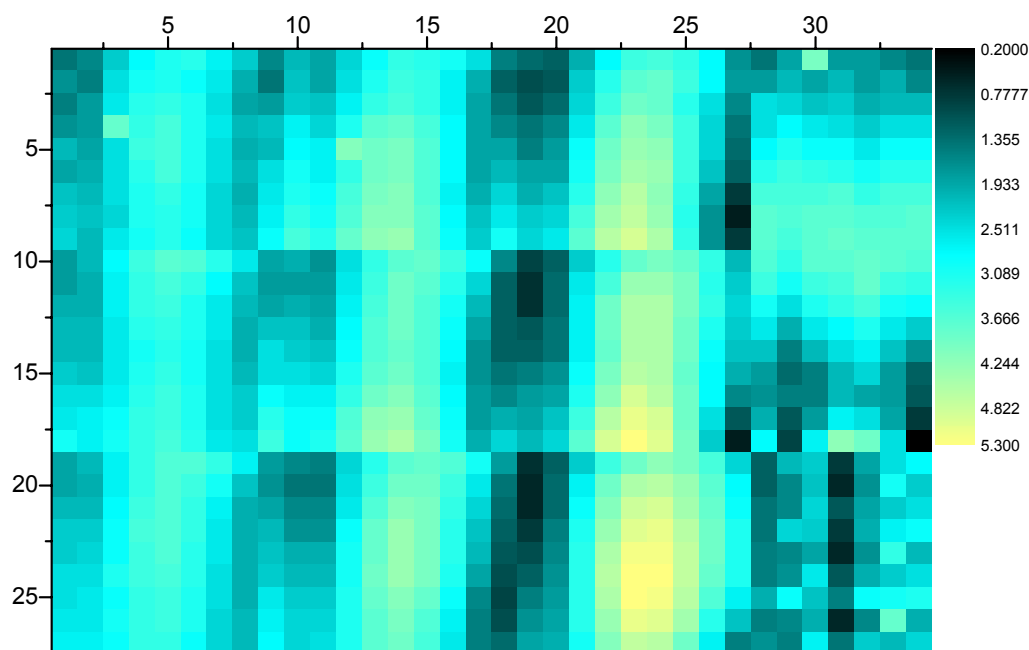
**Obr. 65** Mapa barvových odchylek vzorku č.11

#### 5.1.4.2 Vzorek č.12 zhotovený na zařízení ZBE Chromira na materiál Kodak Endura Lesk



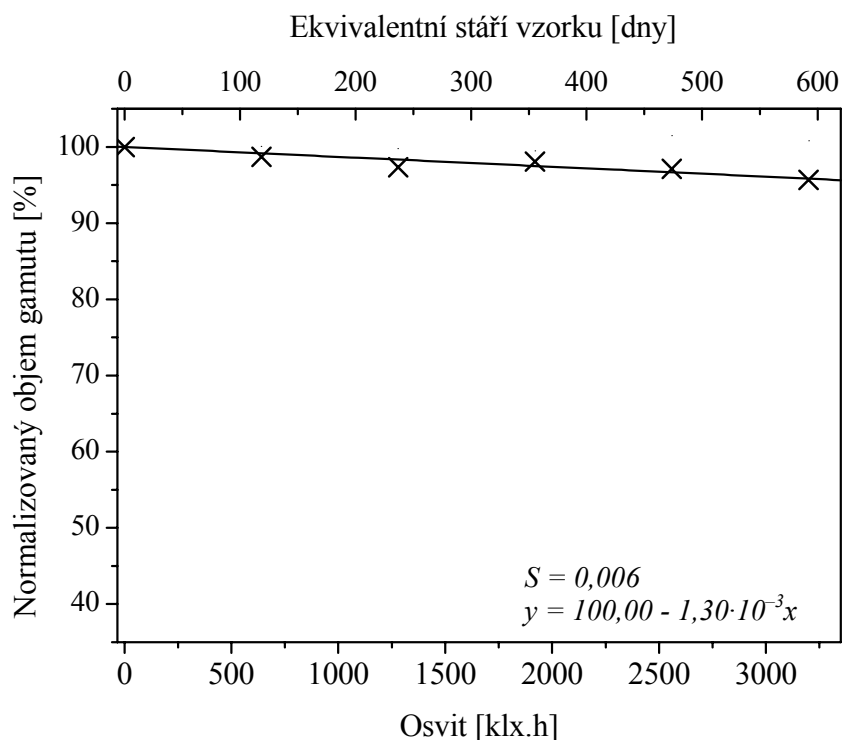
**Obr. 66** Úbytek objemu gamutu vzorku č.12 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

Celkový úbytek normalizovaného objemu gamutu je 5 %. Maximum  $\Delta E$  je 5,3 a nachází se v azurových a azurovo-modrých odstínech. Největší četnost mají střední až vysoké hodnoty barvových odchylek. Nízké  $\Delta E$  se nachází na neutrálních polích. Jako v předcházejícím případě je opět barevný rozdíl vnímán bez potřeby přímého porovnání s referenčním vzorkem.



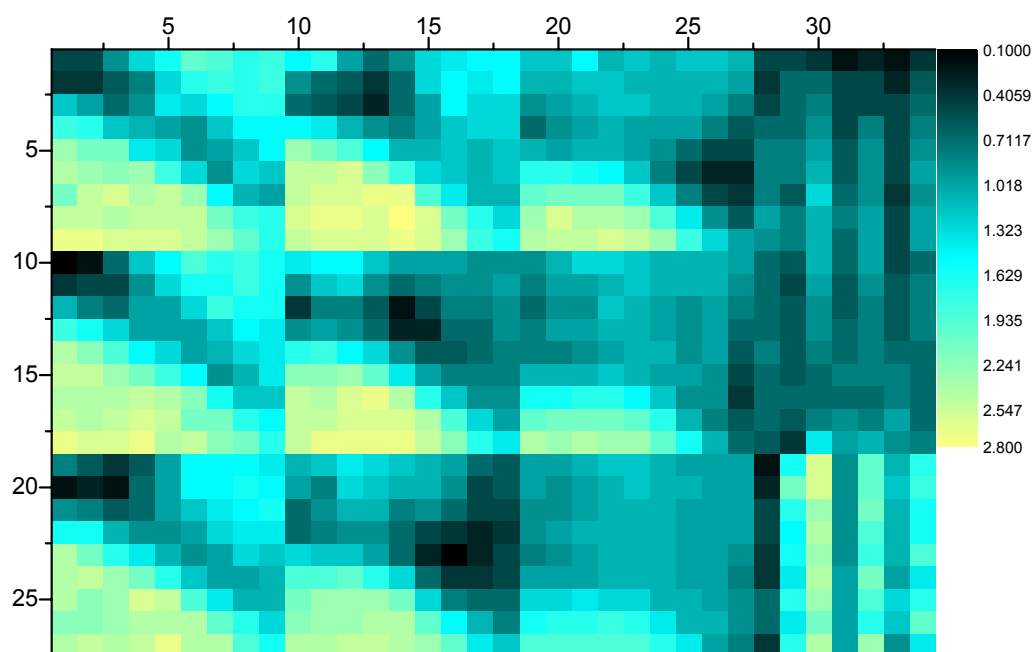
**Obr. 67** Mapa barvových odchylek vzorku č.12

#### 5.1.4.3 Vzorek č.13 zhotovený na zařízení OCE LightJet na materiál Ilfochrome Classic



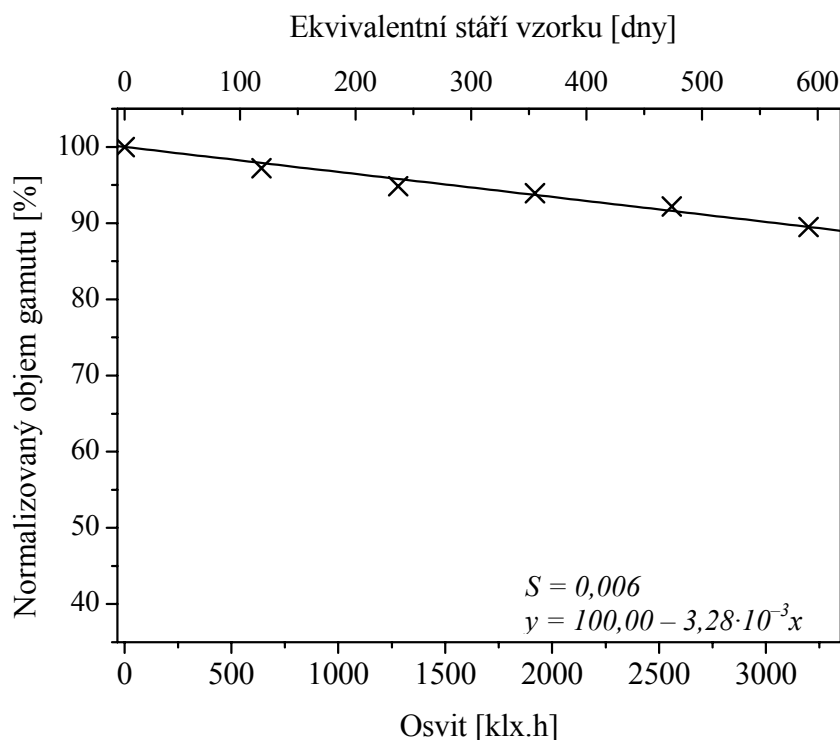
**Obr. 68** Úbytek objemu gamutu vzorku č.13 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

Normalizovaný objemu gamutu se od začátku urychleného testu zmenšil o 4 %. Nejvyšší vypočtená hodnota barvové odchylky je 2,8 a spolu s dalšími vysokými hodnotami postihuje nejvíce zelené oblasti s přechody do žluté. Nízké  $\Delta E$  se nacházejí převážně v oblastech odstínů z dolní části osy nepestrosti a také u purpurových odstínů se středními hodnotami jasu. Barevný rozdíl u tohoto vzorku bude patrný jen při přímém porovnání s referenčním vzorkem (Tabulka 12).



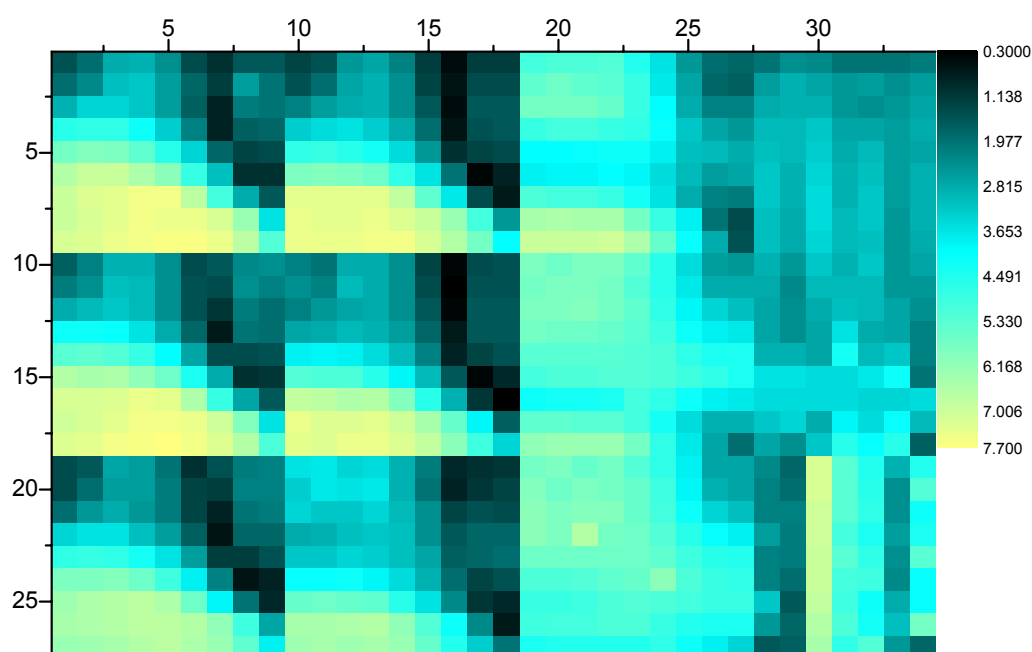
**Obr. 69** Mapa barvových odchylek vzorku č.13

#### 5.1.4.4 Vzorek č.14 zhotovený na zařízení Pictography na materiál Fujifilm Pictropaper



**Obr. 70** Úbytek objemu gamutu vzorku č.14 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

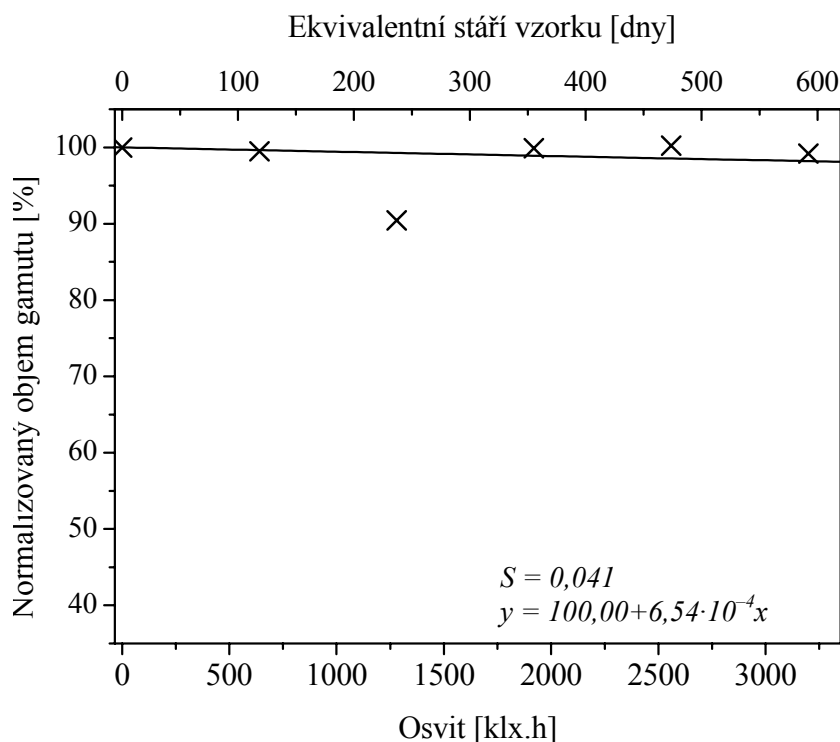
Celkový úbytek normalizovaného objemu gamutu činí 11 %. Z mapy barvové odchylky plyne, že nejvíce jsou zasaženy zelené odstíny s přechody do žluté a částečně také azurové oblasti. Zde je také lokalizováno maximum  $\Delta E$  7,7. Malé nebo střední odchylky jsou v purpurových a růžových oblastech. Podle hodnocení barvových odchylek (Tabulka 12) je barevný rozdíl tohoto vzorku patrný i bez přímého porovnání s referencí.



**Obr. 71** Mapa barvových odchylek vzorku č.14

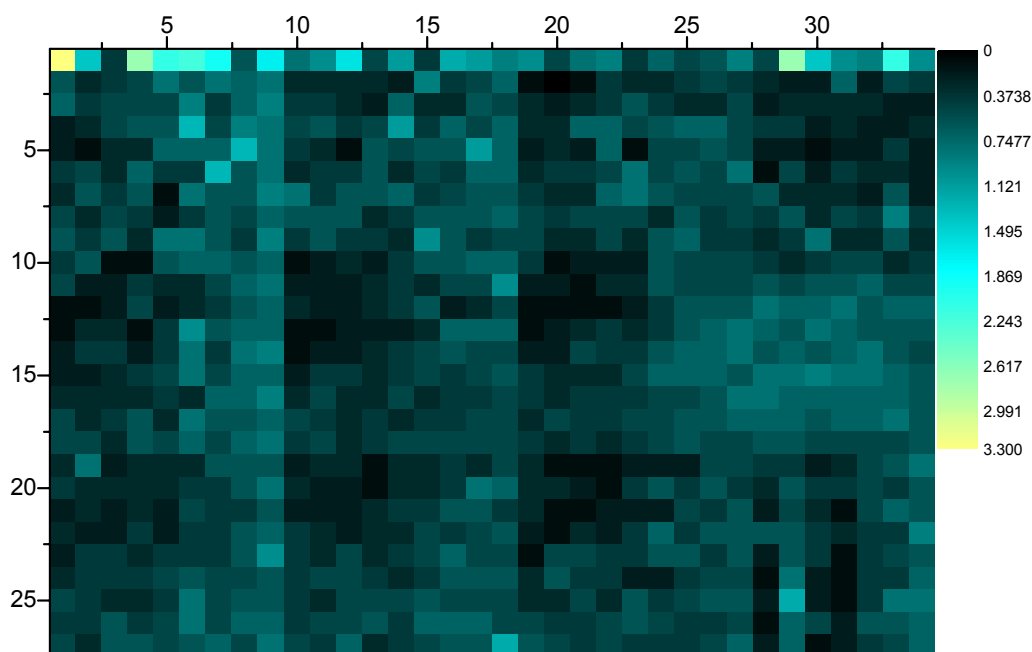
### 5.1.5 Speciální procesy

#### 5.1.5.1 Vzorek č. 15 zhotovený speciální zobrazovací metodou *Quadrichromii* na hlazený bezdřevý papír kartonového typu



**Obr. 72** Úbytek objemu gamutu vzorku č.15 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří

Normalizovaný objem gamutu vzorku č. 15 se v průběhu urychleného testu zvětšoval a zmenšoval, při posledním měření se oproti počátku o 1 % zmenšil. Maximum  $\Delta E$  3,3 se nachází na černém políčku. Nejčtenější jsou velmi nízké hodnoty barvových odchylek. V tomto případě je třeba přímého porovnání s referencí, aby byl patrný barevný rozdíl.



**Obr. 73** Mapa barvových odchylek vzorku č. 15



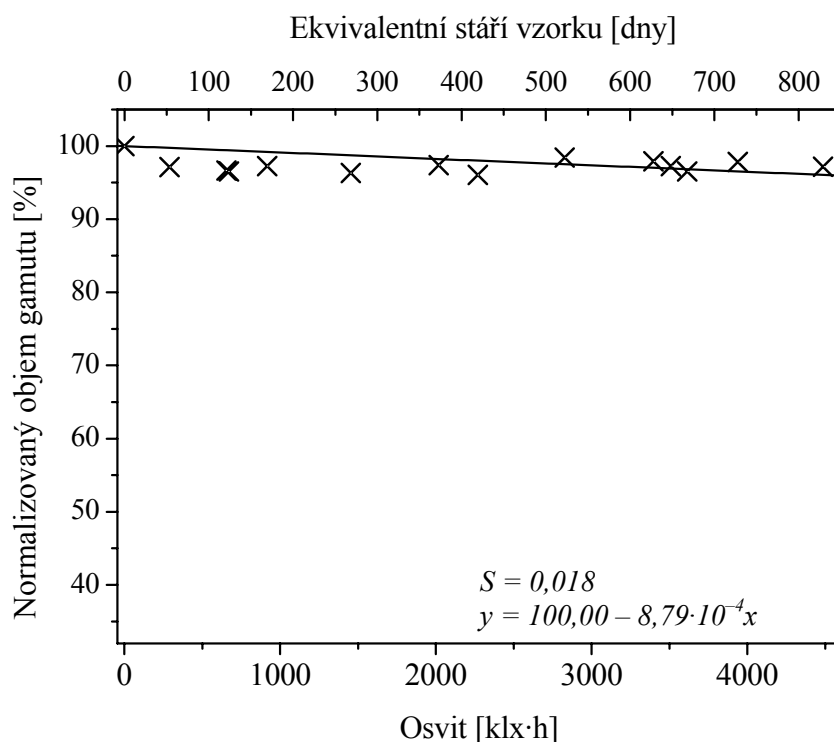
## 5.2 Chodbová expozice

Do aplikace Microsoft Excel byla importována data z jednotlivých měření. Z těchto dat byla vypočtena pro každé pole barvová odchylka  $\Delta E$ , jako rozdíl  $L^*a^*b^*$  hodnot, tyto byly importovány do programu OriginLab 7.5<sup>®</sup>. Z odchylek byly vytvořeny matice a z těch poté mapy barvových odchylek pro každý vzorek.

V programu OriginLab 7.5<sup>®</sup> byly vytvořeny grafy zobrazující úbytky objemů barvových gamutů v závislosti na osvitu a také na ekvivalentním stáří vzorku (přepočtení osvitu na průměrný den 450 lux/ 12 hodin). Některé vzorky vykazovaly v podmínkách na chodbě poměrně stabilní vlastnosti a za dobu expozice 640 dní nedosáhly 30 % úbytku objemu. U vzorků, které toto kritérium dosáhly byly odečteny hodnoty ekvivalentního stáří.

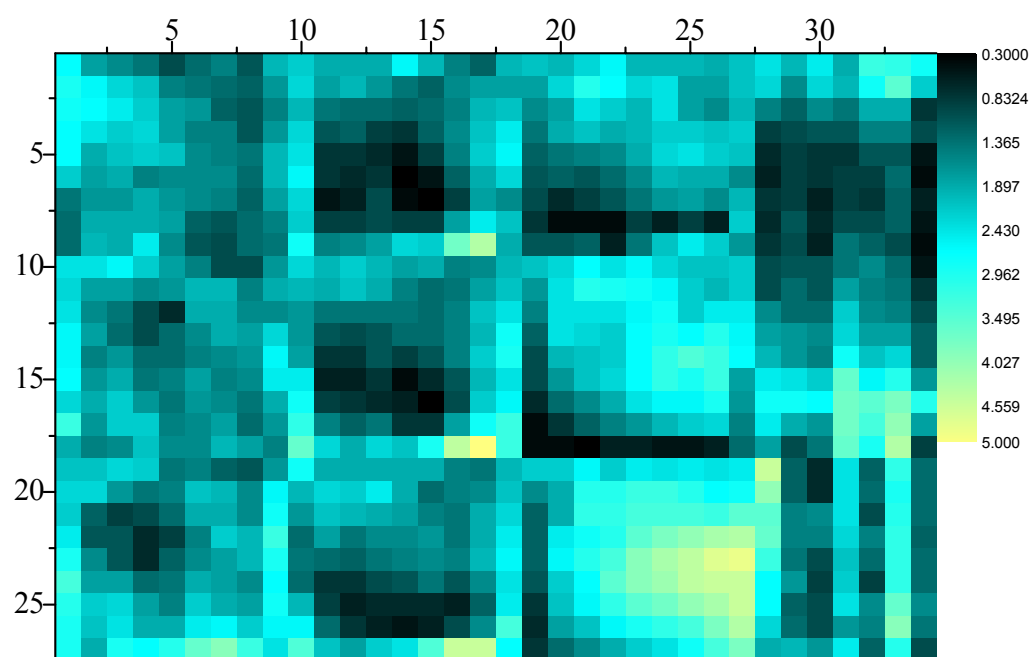
### 5.2.1 Spotřebitelský inkjet

#### 5.2.1.1 Vzorek č.1 zhotovený na tiskárně Epson 2400 na materiál Ilford Smooth Gloss



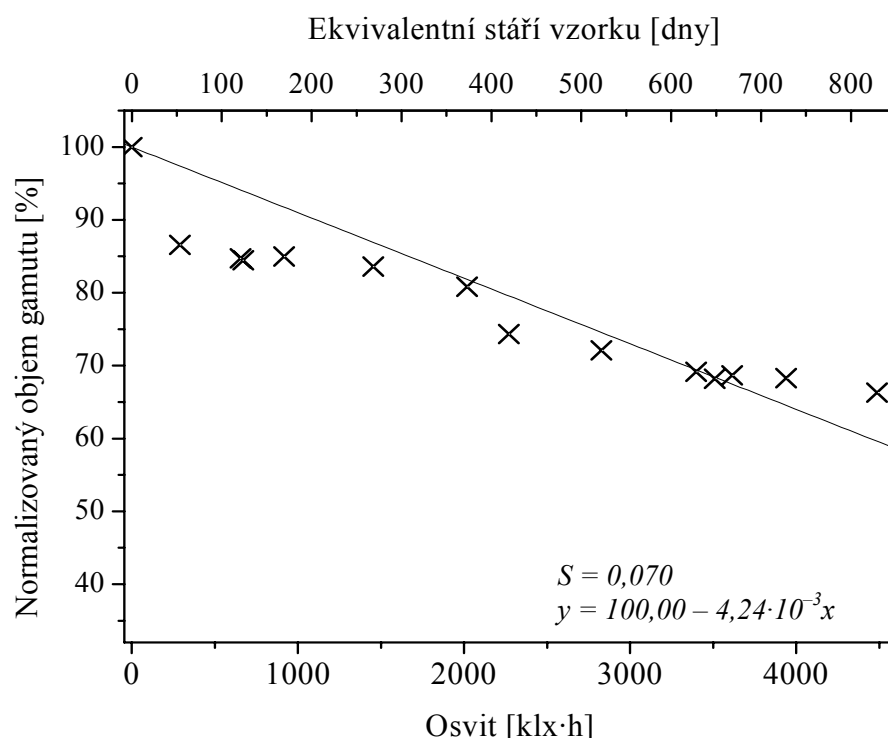
**Obr. 74** Změna objemu gamutu vzorku č.1 v závislosti na osvitu a ekvivalentním stáří vzorku po 640 dnech expozice na chodbě

Celkový úbytek normalizovaného objemu gamutu vzorku č.2 je 2 %. Maximální vypočtená barevná odchylka  $\Delta E$  u tohoto vzorku dosáhla hodnoty 5,0. Největší odchylka se vyskytovala u žlutých odstínů a purpurových odstínů v horní části osy nepestrosti. Největší zastoupení mají střední barvové odchylky. Podle hodnocení barvových odchylek (Tabulka 12) je u tohoto vzorku barevný rozdíl patrný i bez přímého porovnání s referenčním vzorkem.



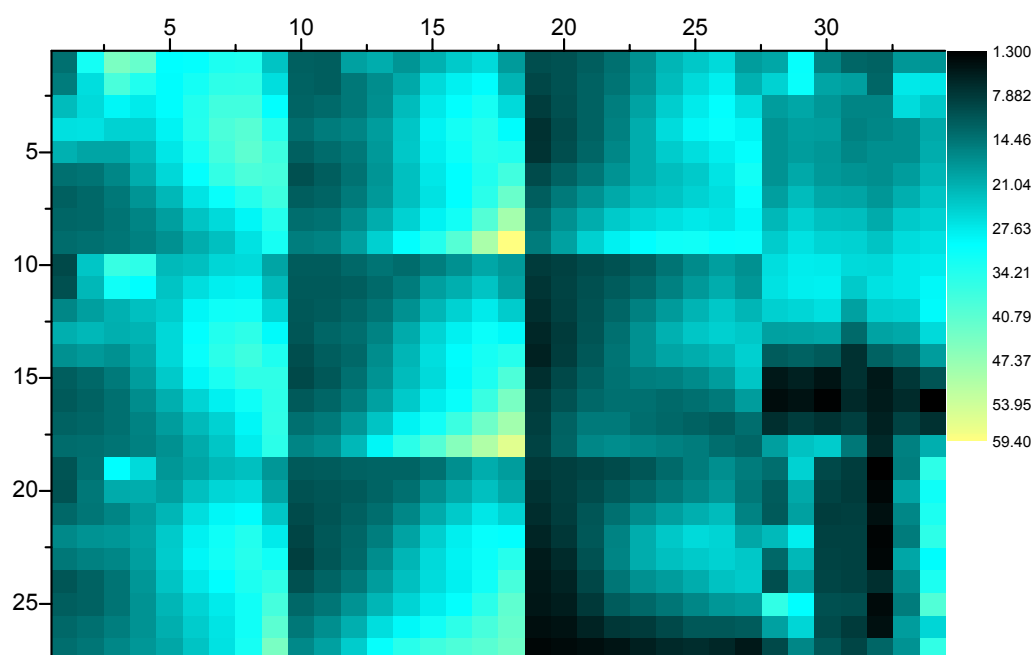
**Obr. 75** Mapa barvových odchylek vzorku č. 1 po 640 dnech expozice

### 5.2.1.2 Vzorek č.2 zhotovený na tiskárně Epson R220 na materiál Ilford Smooth Gloss



**Obr. 76** Úbytek objemu gamutu vzorku č. 2 v závislosti na dávce

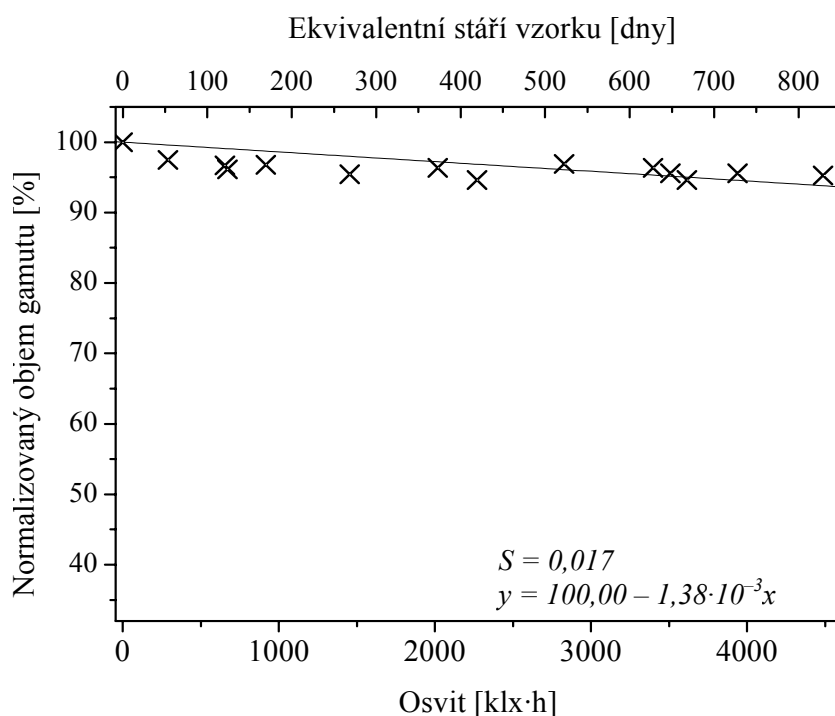
U vzorku 2 je celkový úbytek normalizovaného objemu gamutu 34 %. Maximální vypočtená barevná odchylka  $\Delta E$  dosáhla hodnoty 59,4. Nejvyšší barevná odchylka byla u odstínů žluté. Vysoké barevné odchylky byly vypočteny pro odstíny z dolní části osy nepestrosti, hlavní zasažené odstíny pro tuto oblast jsou červené, oranžové a purpurové. U tohoto vzorku je patrný velmi výrazný barevný rozdíl. (Tabulka 12)



**Obr. 77** Mapa barvových odchylek vzorku č.2 po 640 dnech expozice

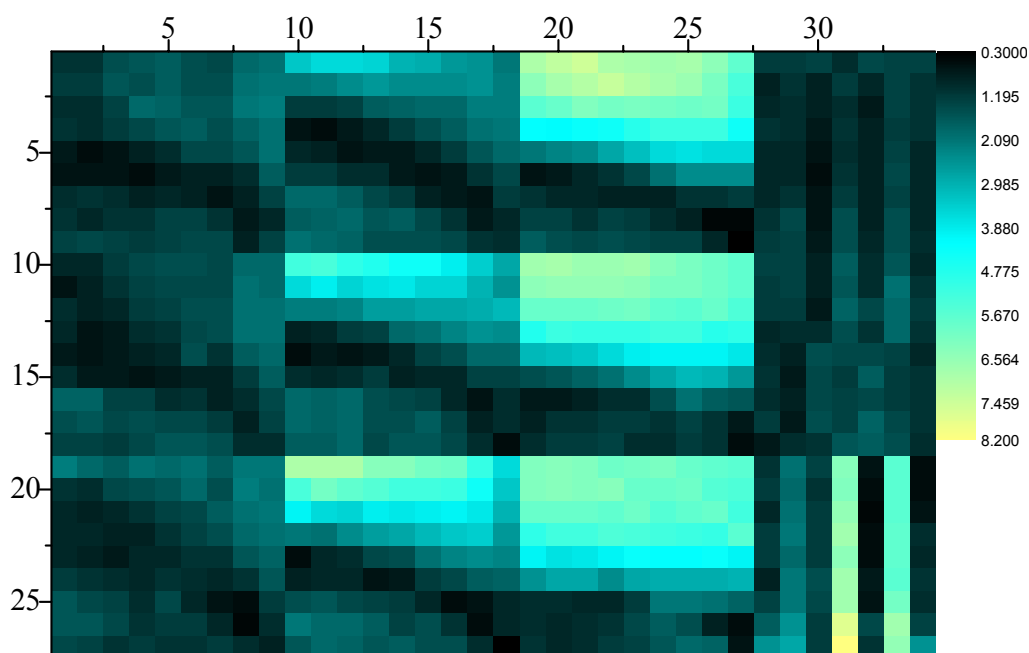
## 5.2.2 Profesionální inkjet

### 5.2.2.1 Vzorek č.3 zhotovený na tiskárně Epson 9600 na materiál Epson Professional Paper



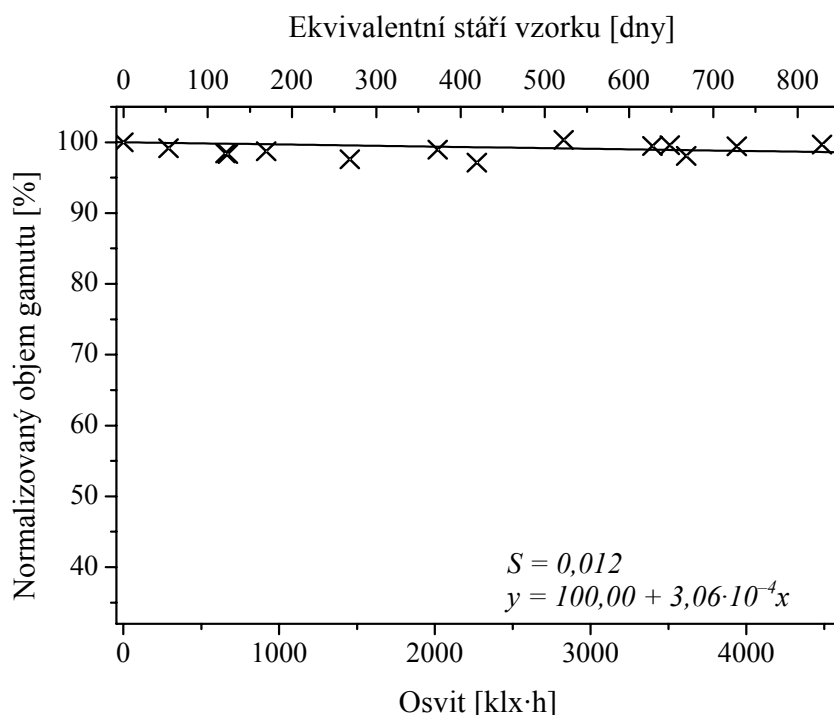
**Obr. 78** Změna objemu gamutu vzorku č.3 v závislosti na osvitu

Celkový úbytek objemu gamutu vzorku č. 3 je 5 %. Maximální vypočtená hodnota barvové odchylky pro tento vzorek je 8,2 a vyskytuje se na poli s modrými odstíny. Vysoké a střední hodnoty odchylek jsou lokalizovány v oblastech s purpurovými a modrými odstíny a jejich přechodu. Největší četnost mají nízké hodnoty barvových odchylek. Podle hodnocení  $\Delta E$  (Tabulka 12) je barevný rozdíl u tohoto vzorku výrazný.



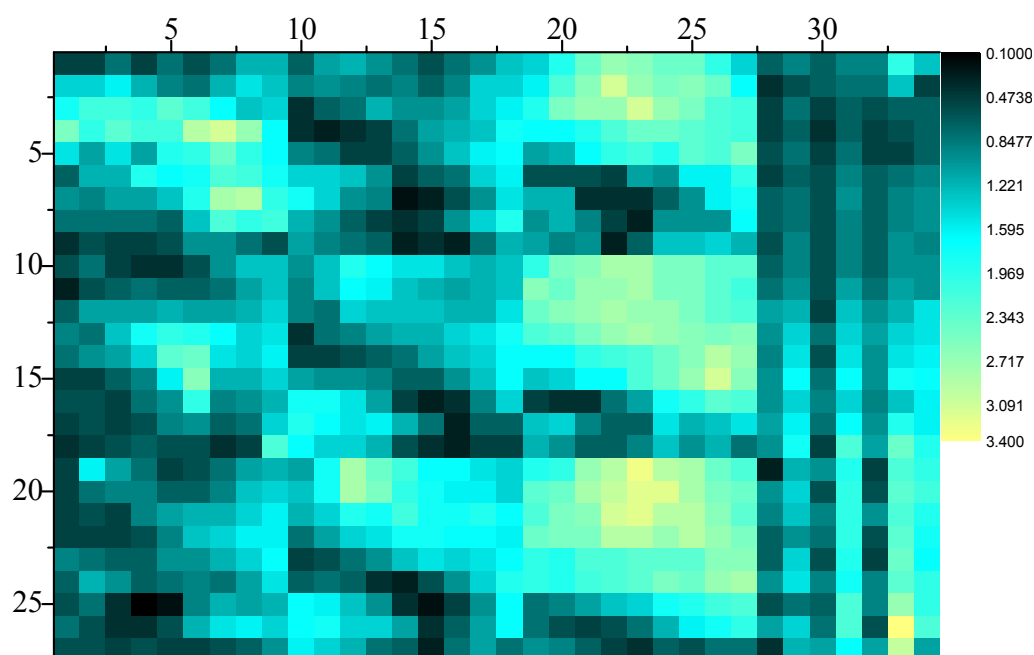
**Obr. 79** Mapa barevné odchylky vzorku č.3 po 640 dnech expozice

### 5.2.2.2 Vzorek č.4 zhotovený zařízením Canon iPF5000 na materiál Canon Glossy 190



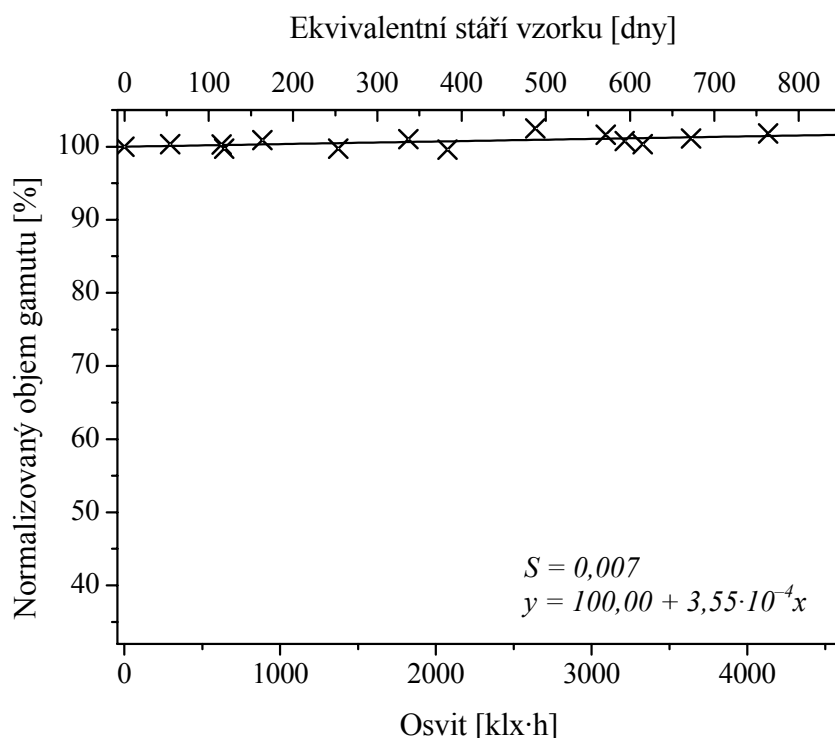
**Obr. 80** Změna objemu gamutu vzorku č.4 v závislosti na osvitu

Změna objemu gamutu tohoto vzorku byla v průběhu testu v obou směrech, tedy přibýval i ubýval. Při posledním měření byl naměřen 2 % úbytek. Nejvyšší hodnota barvové odchylky byla vypočtena na 3,4 a byla lokalizována v přechodu mezi purpurovými a modrými odstíny. Vysoké hodnoty se vyskytovaly na fialových a oranžových polích. Nejmenší hodnoty barvových odchylek se většinou vyskytovaly na azurových polích. U tohoto vzorku je potřebné přímé porovnání s referenčním vzorkem, aby byl patrný barevný rozdíl.



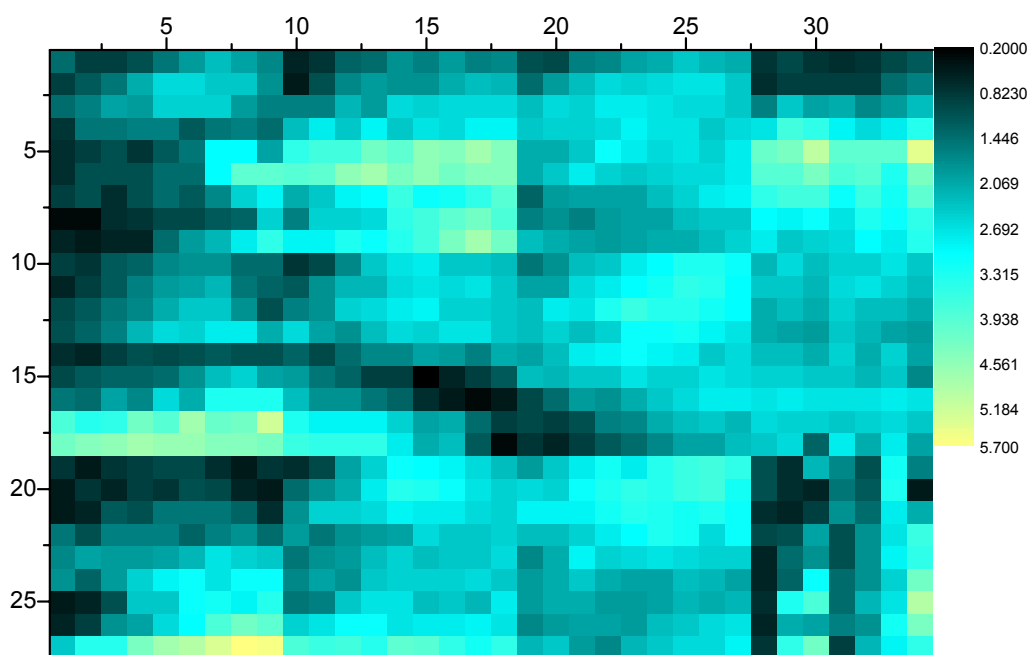
**Obr. 81** Mapa barevné odchylky vzorku č4 po 640 dnech expozice

### 5.2.2.3 Vzorek č.5 zhotovený zařízením Noritsu DryLab na materiál Epson Ecography



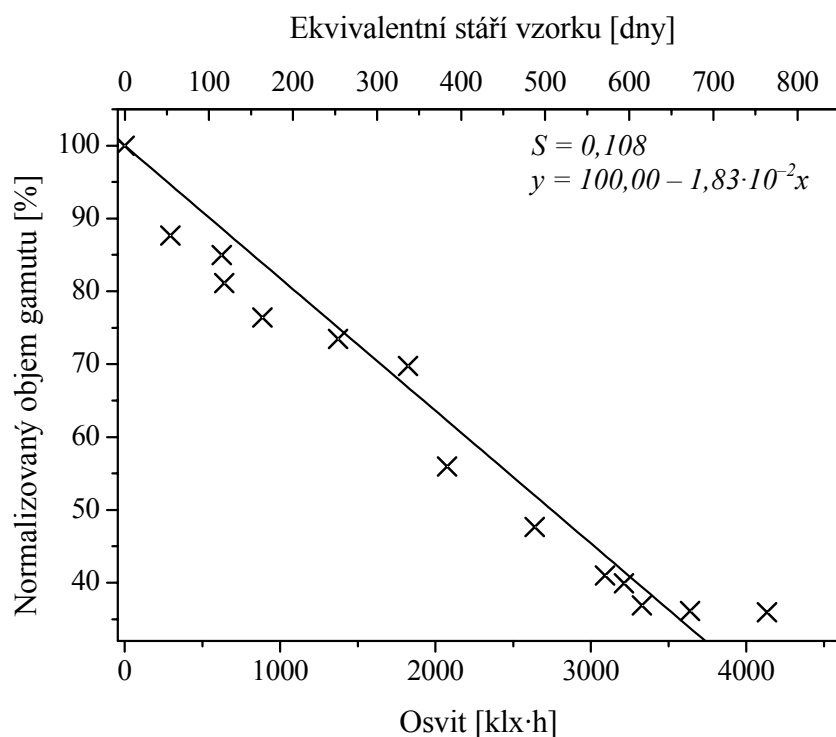
**Obr. 82** Změna objemu gamutu vzorku č.5 v závislosti na osvitu

U tohoto vzorku došlo ke zvětšení objemu normalizovaného gamutu o 2 %. Nejvyšší hodnota vypočtené barvové odchylky byla 5,7 a je lokalizována ve žlutých odstínech. Další výskyty vysokých barvových odchylek jsou rozmístěny náhodně. Největší četnost mají střední hodnoty, které postihují zejména odstíny s vyššími hodnotami jasu. Nejnížší hodnoty barvových odchylek byly vypočteny pro pole s tmavými odstíny. Barevný rozdíl je patrný i bez přímého porovnání s referenčním vzorkem. (Tabulka 12)



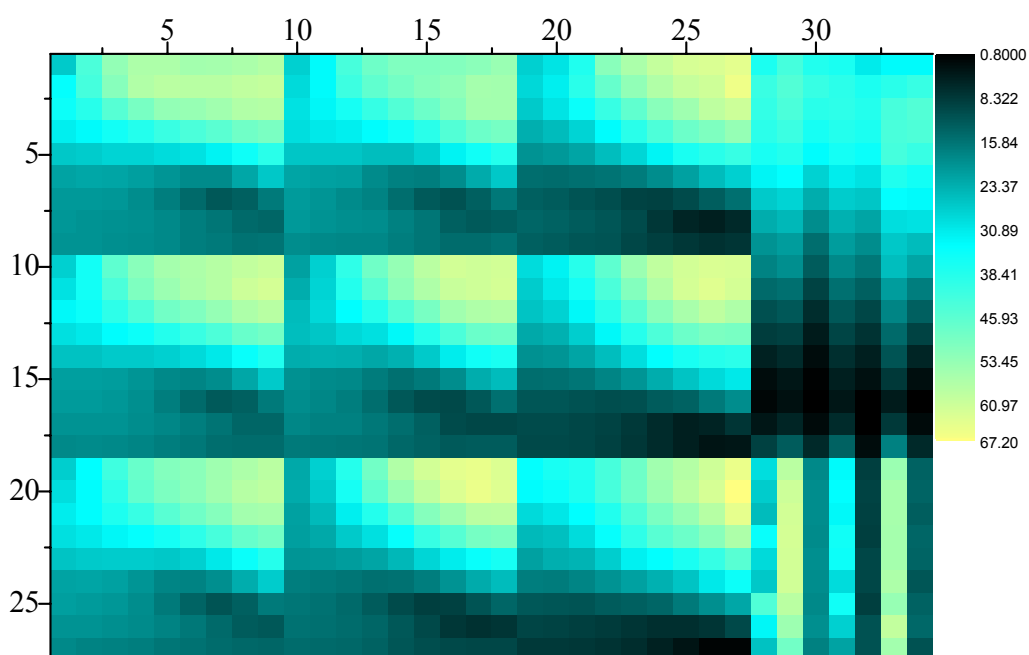
**Obr. 83** Mapa barevné odchylky vzorku č. 5 po 640 dnech expozice

#### 5.2.2.4 Vzorek č.6 zhotovený na zařízení HP 500PS na materiál Ilford Smooth Gloss



**Obr. 84** Změna objemu gamutu vzorku č.6 v závislosti na osvitu

Úbytek objemu normalizovaného gamutu vzorku č. 6 byl za 640 dní expozice 65 %. Nevyšší vypočtená hodnota barvové odchylky nabývá hodnoty 67,2 a je lokalizována převážně v červených a purpurových odstínech. Nejnížší hodnoty barvové odchylky byly vypočteny u odstínů azurových s vysokými hodnotami jasu. Z barvové odchylky je zjevné, že u tohoto velmi výrazný rozdíl barev.

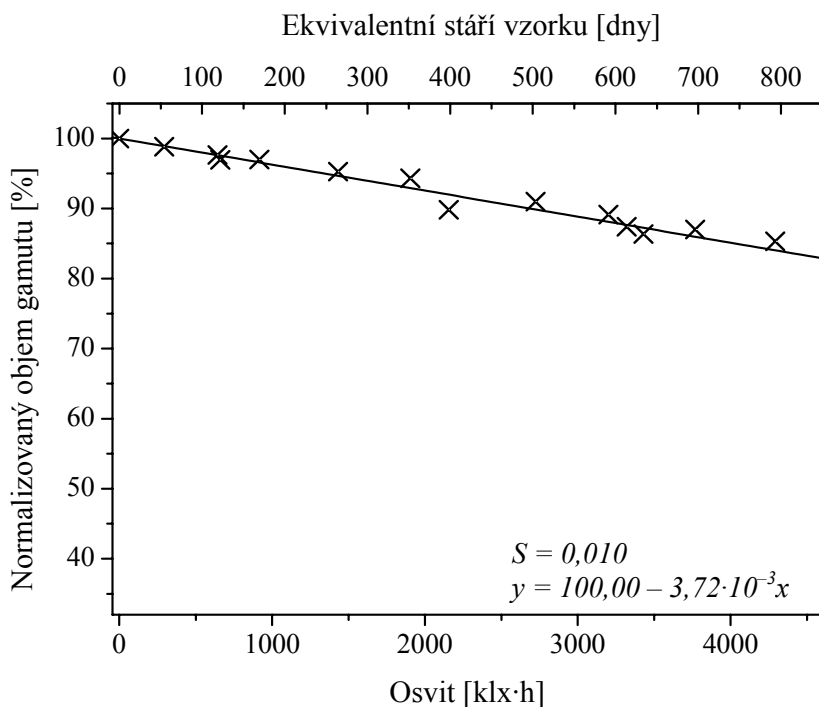


**Obr. 85** Mapa barevné odchylky vzorku č. 6 po 640 dnech expozice



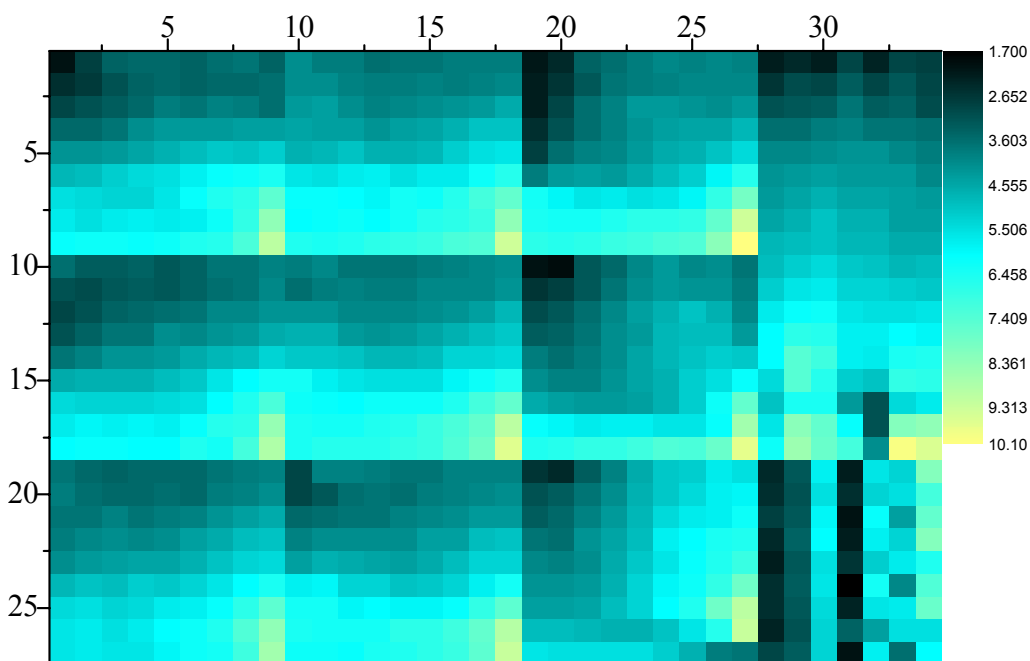
### 5.2.3 Spotřebitelské minilaby

#### 5.2.3.1 Vzorek č.7 zhotovený na zařízení Konica R3 na materiál Konica Long Life 100



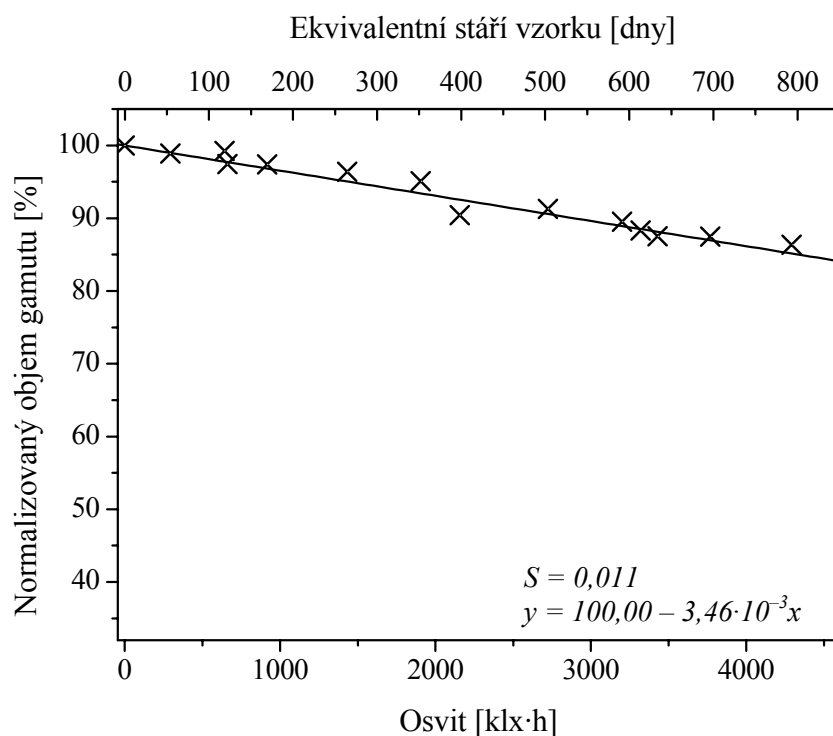
**Obr. 86** Úbytek objemu gamutu vzorku č.7 v závislosti na osvitu

Celkový úbytek objemu normalizovaného gamutu je 15 %. Z mapy barvových odchylek plyne, že největší četnost mají střední hodnoty, které jsou lokalizovány ve žlutých a zelených odstínech a v přechodu mezi nimi. Také se vyskytují ve světlých azurových a purpurových odstínech. Maximální odchylka s hodnotou 10,1 byla vypočtena na polích se žlutými odstíny, naopak minimální odchylka se vyskytovala u odstínů s nízkými hodnotami jasu. Z Tabulka 12 plyne, že barevný rozdíl mezi vzorkem a referencí je výrazný.



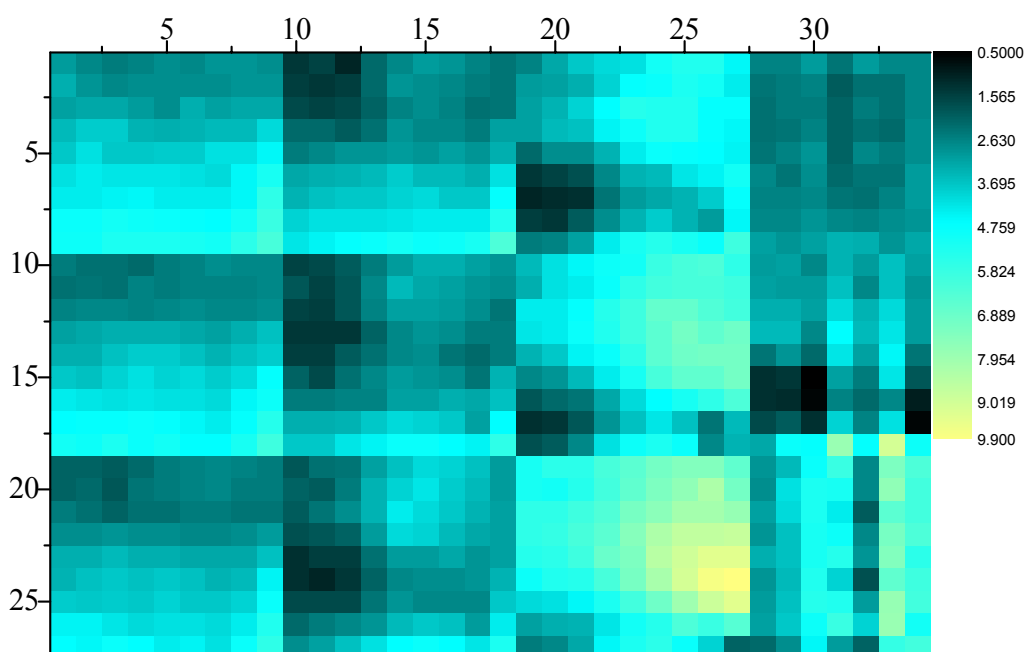
**Obr. 87** Mapa barevné odchylky vzorku č. 7 po 640 dnech expozice

### 5.2.3.2 Vzorek č.8 zhotovený na zařízení Noritsu DryLab na materiál Kodak Royal Digital Paper



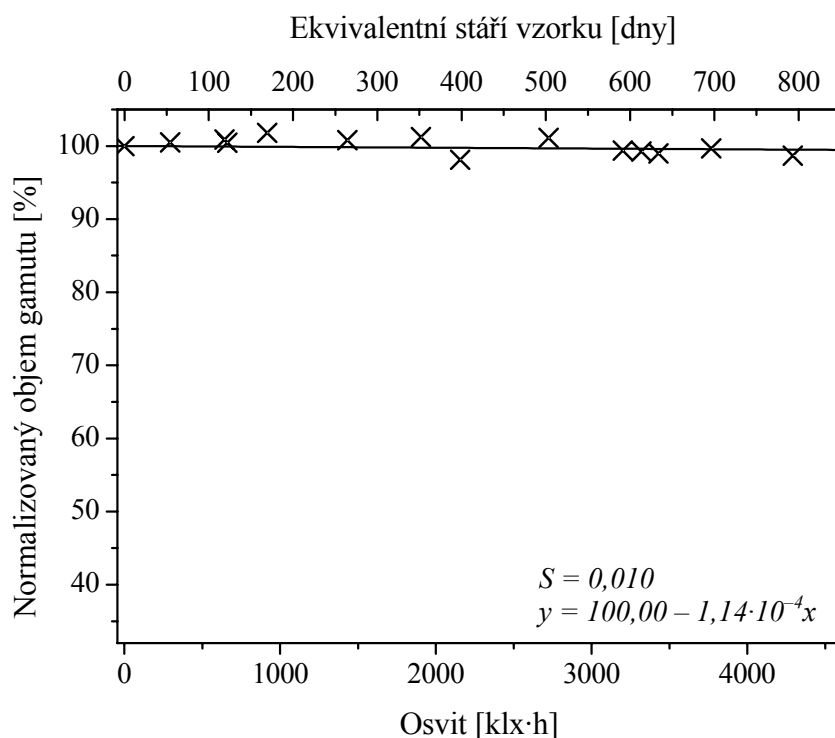
**Obr. 88** Úbytek objemu gamutu vzorku č.8 v závislosti na osvitu

Maximální hodnota úbytku objemu normalizovaného gamutu je 14 %. Nejvyšší hodnota barvé odchyly 9,9 leží v purpurových odstínech s vysokou hodnotou jasu. Střední hodnoty odchyly se nejvíce vyskytují v žlutých, zelených a purpurových odstínech. Stejně jako u předchozího vzorku je barevný rozdíl mezi vzorkem a referencí výrazný. (Tabulka 12)



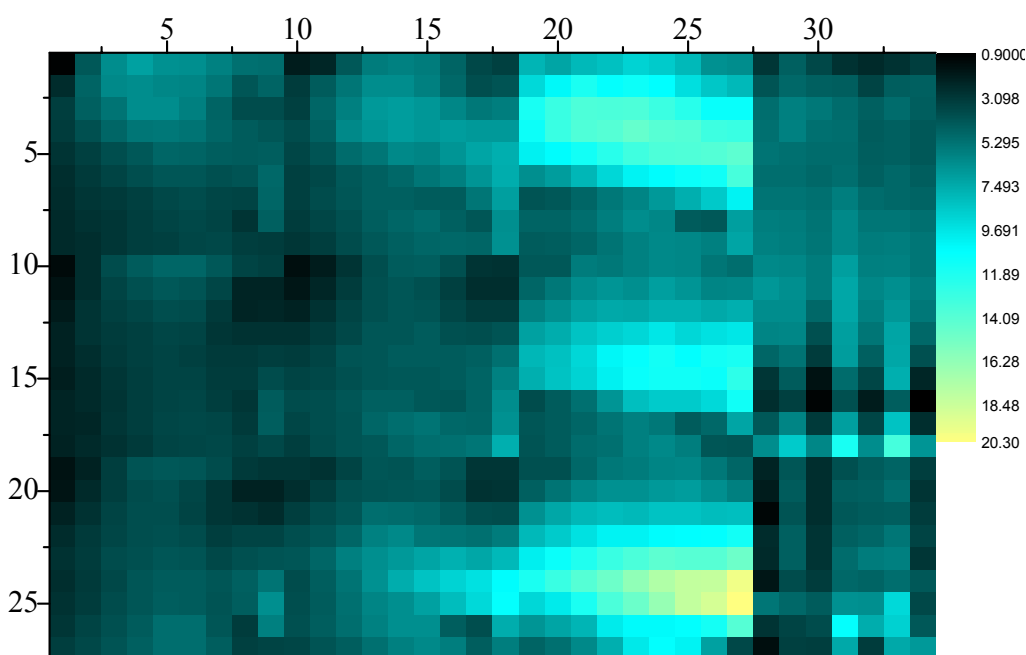
**Obr. 89** Mapa barevné odchyly vzorku č.8 po 640 dnech expozice

### 5.2.3.3 Vzorek č.9 zhotovený zařízením Fuji Frontier na materiál Fuji Color Proffesional Paper



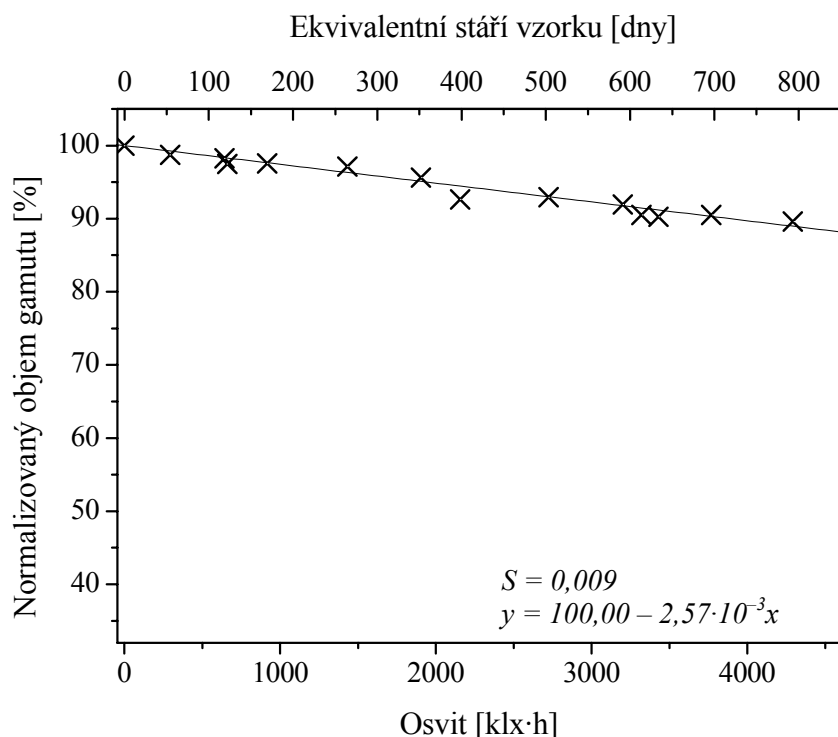
**Obr. 90** Změna objemu gamutu vzorku č.9 v závislosti na osvitu

Celkový úbytek objemu normalizovaného gamutu byl u tohoto vzorku 2 %. Z mapy barvových odchylek plyne, že největší četnost mají nízké hodnoty. Střední hodnoty se vyskytují nejvíce v purpurových odstínech s přechodem do modré. Nejvyšší hodnota barvové odchylky je 20,3 a vyskytuje se v purpurových odstínech s vysokou hodnotou jasu. Podle hodnocení  $\Delta E$  (Tabulka 12) je u tohoto vzorku velmi výrazný barevný rozdíl mezi vzorkem a referencí.



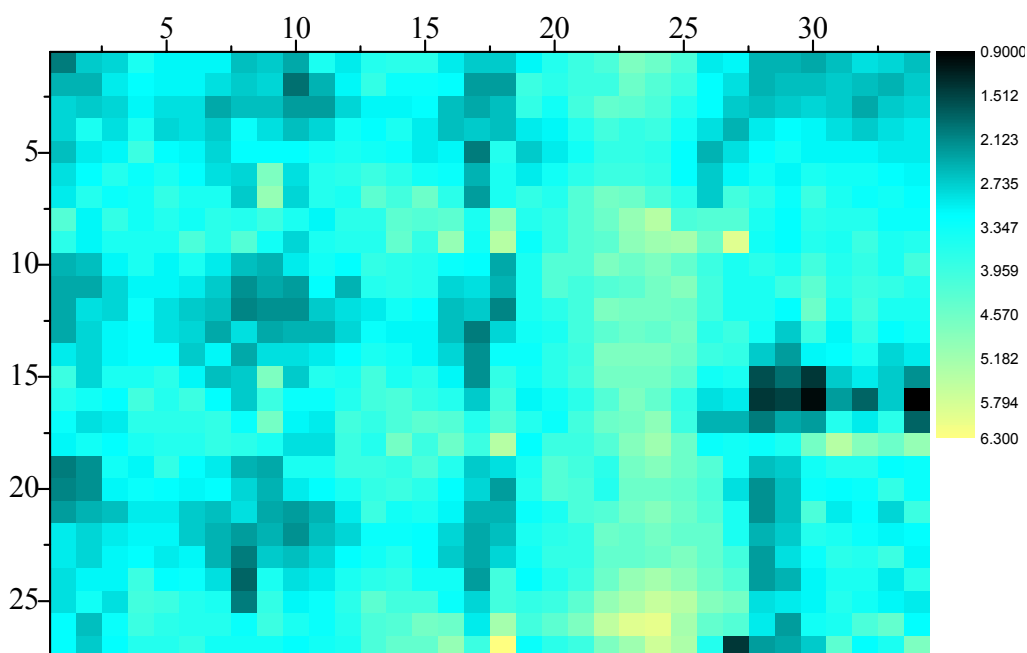
**Obr. 91** Mapa barevné odchylky vzorku č.9 po 640 dnech expozice

#### 5.2.3.4 Vzorek č.10 zhotovený na zařízení Fuji Frontier na materiál Fuji Crystal Archive



**Obr. 92** Úbytek objemu gamutu vzorku č.10 v závislosti na osvitu

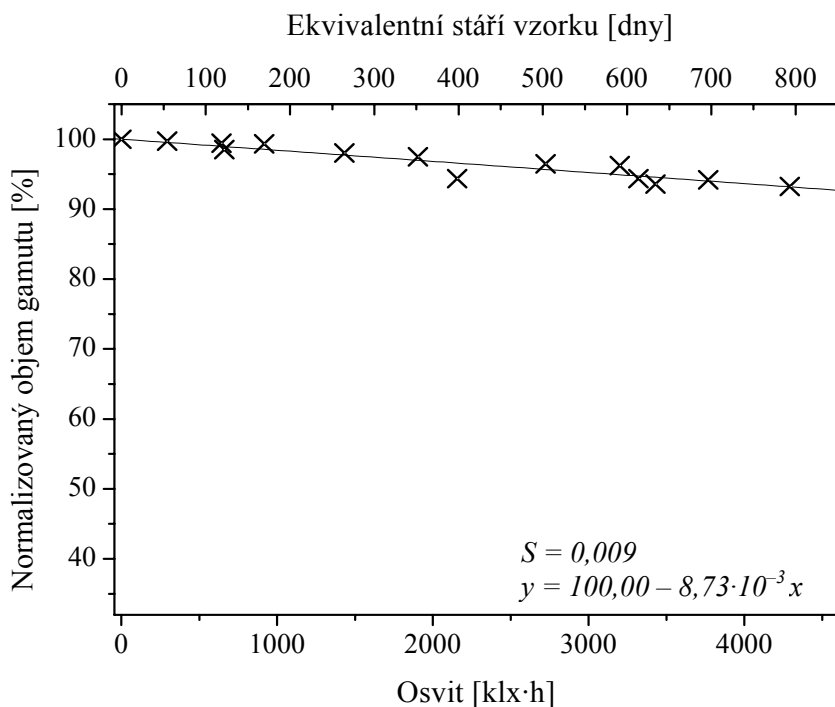
Po 640 dnech expozice byl úbytek objemu gamutu 11 %. Maximální vypočtená barvová odchylka byla 6,3 a je lokalizovaná náhodně. Nejvyšší hodnoty  $\Delta E$  se však objevují více u odstínů s vysokými hodnotami jasu. Největší četnost mají střední hodnoty barvových odchylek. Nejmenší hodnota barvové odchylky se vyskytuje u odstínů s velmi vysokými hodnotami jasu. Podle hodnocení barvových odchylek (Tabulka 12) je barevný rozdíl mezi vzorkem a referencí patrný i bez přímého porovnání.



**Obr. 93** Mapa barevné odchylky vzorku č.10 po 640 dnech expozice

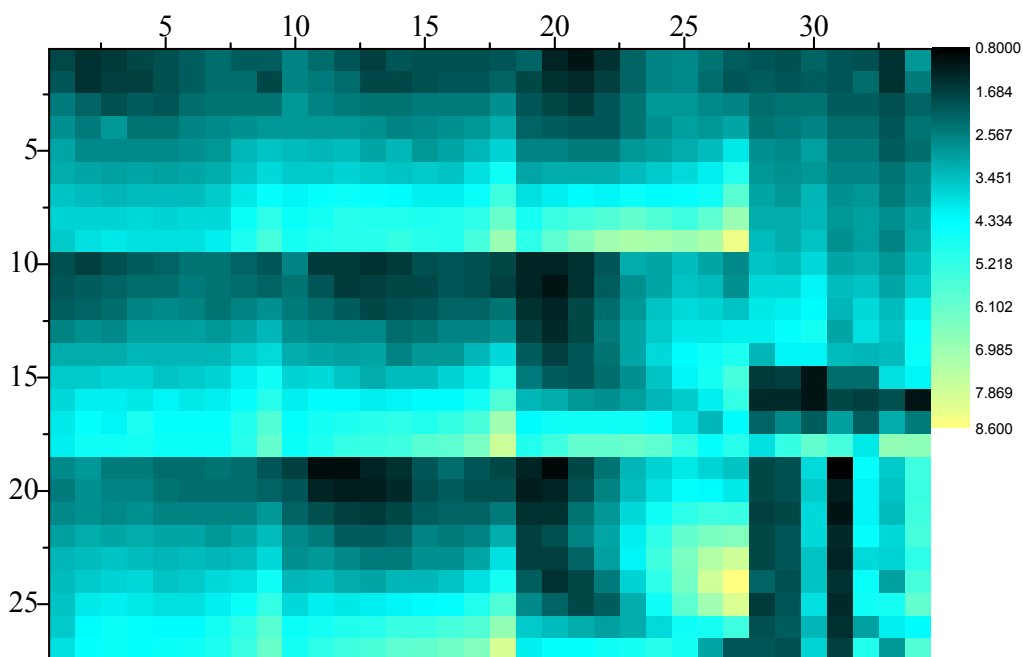
## 5.2.4 Profesionální konečné zpracování

### 5.2.4.1 Vzorek č.11 zhotovený na zařízení OCE LightJet na materiál Kodak Endura Lesk



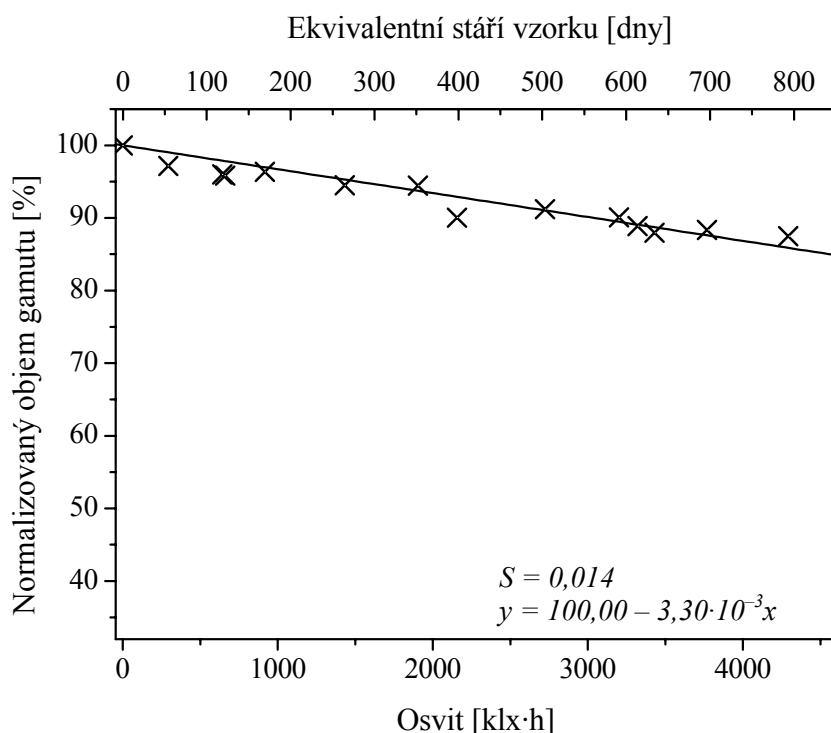
**Obr. 94** Úbytek objemu gamutu vzorku č.11 v závislosti na osvitu

Celkový úbytek objemu normalizovaného gamutu je 7 %. Nejvyšší vypočtená hodnota barvové odchylky je 8,6. Takto vysoké hodnoty byly vypočteny u žlutých a velmi světlých odstínů azurové a purpurové. Nejvyšší zastoupení mají poměrně nízké hodnoty barvových odchylek. Nejmenší hodnoty byly vypočteny v modrých oblastech, a také u odstínů z dolní části osy nepestrosti. U tohoto vzorku je patrný výrazný barevný rozdíl i bez porovnání s referencí.



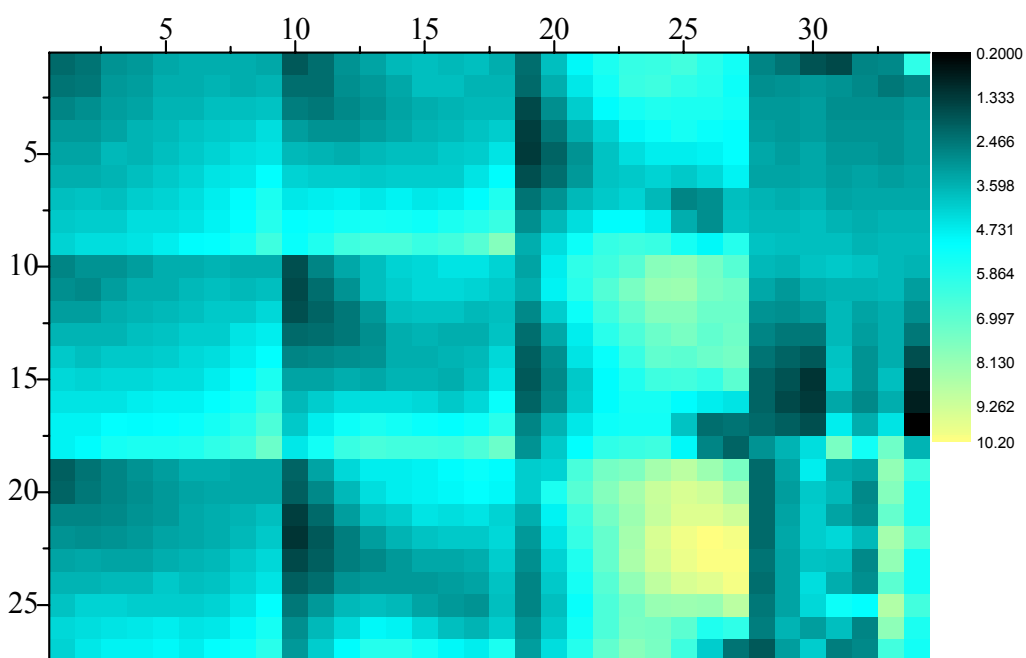
**Obr. 95** Mapa barevné odchylky vzorku č.11 po 640 dnech expozice

#### 5.2.4.2 Vzorek č.12 zhotovený na zařízení ZBE Chromira na materiál Kodak Endura Lesk



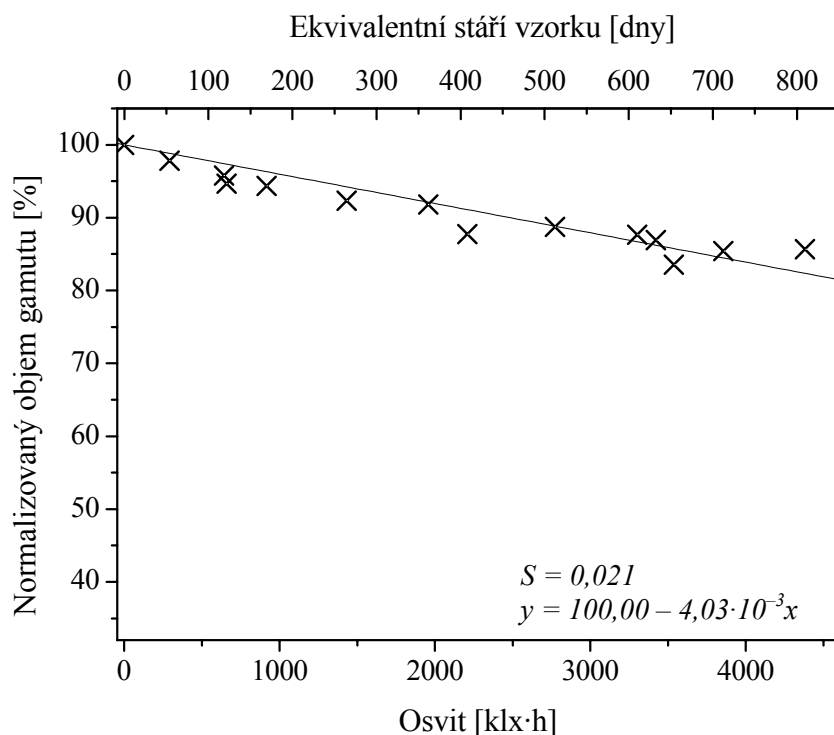
**Obr. 96** Úbytek objemu gamutu u vzorku č.12 v závislosti na osvitu

Maximální hodnota úbytku objemu normalizovaného gamutu je 13 %. Nejvyšší hodnota barvové odchylky je 10,2. Vysoké hodnoty odchylek, značené žlutě, se vyskytují hlavně v purpurových a azurovo-purpurových odstínech vysokými hodnotami jasu. Největší četnost mají střední hodnoty barvových odchylek. Podle hodnocení barvových odchylek (Tabulka 12) lze říci, že barevný rozdíl mezi referencí a vzorkem je výrazný.



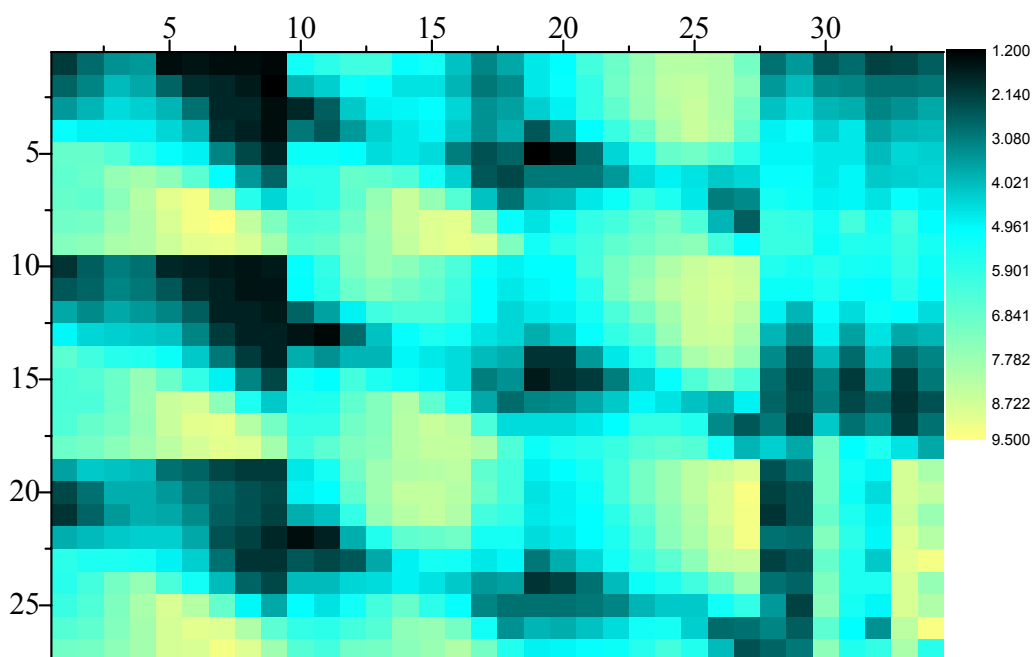
**Obr. 97** Mapa barevné odchylky vzorku č.12 po 640 dnech expozice

#### 5.2.4.3 Vzorek č.13 zhotovený na zařízení OCE LightJet na materiál Ilfochrome Classic



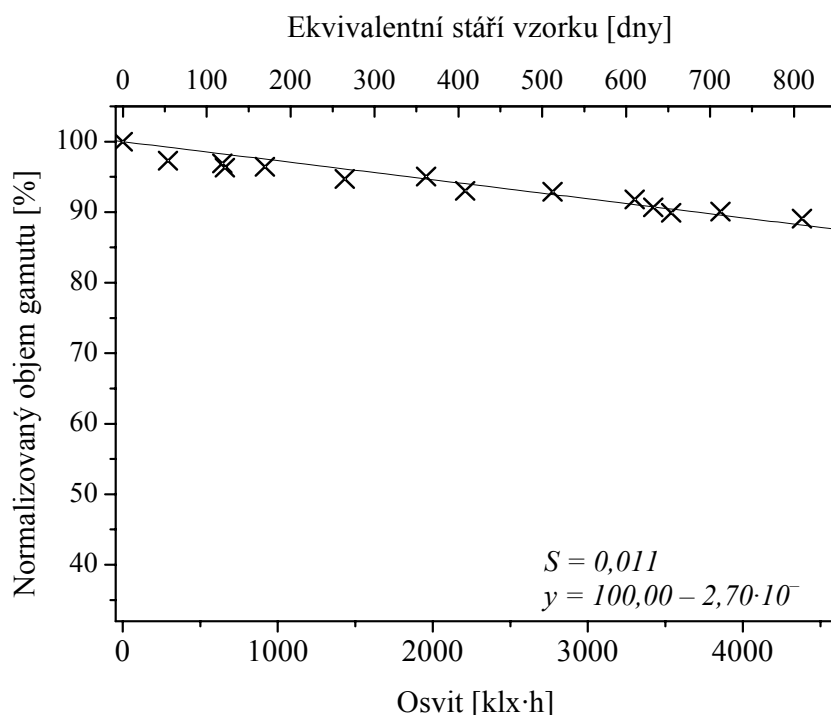
**Obr. 98** Úbytek objemu gamutu u vzorku č.13 v závislosti na osvitě

Celkový úbytek objemu normalizovaného gamutu vzorku č. 13 činí 14 %. Maximální vypočtená barvová odchylka nabývá hodnoty 9,5. Největší četnost mají střední hodnoty barvové odchylky. Černou barvou označené minimální odchylky se vyskytují v červených, oranžových a modro-zelených odstínech, a také v oblasti přechodu mezi azurovými a modrými odstíny. Naopak nejvyšších hodnot barvových odchylek nabývají odstíny purpurové a žluté. Stejně jako u předchozího vzorku je barevný rozdíl mezi referencí a vzorkem výrazný.



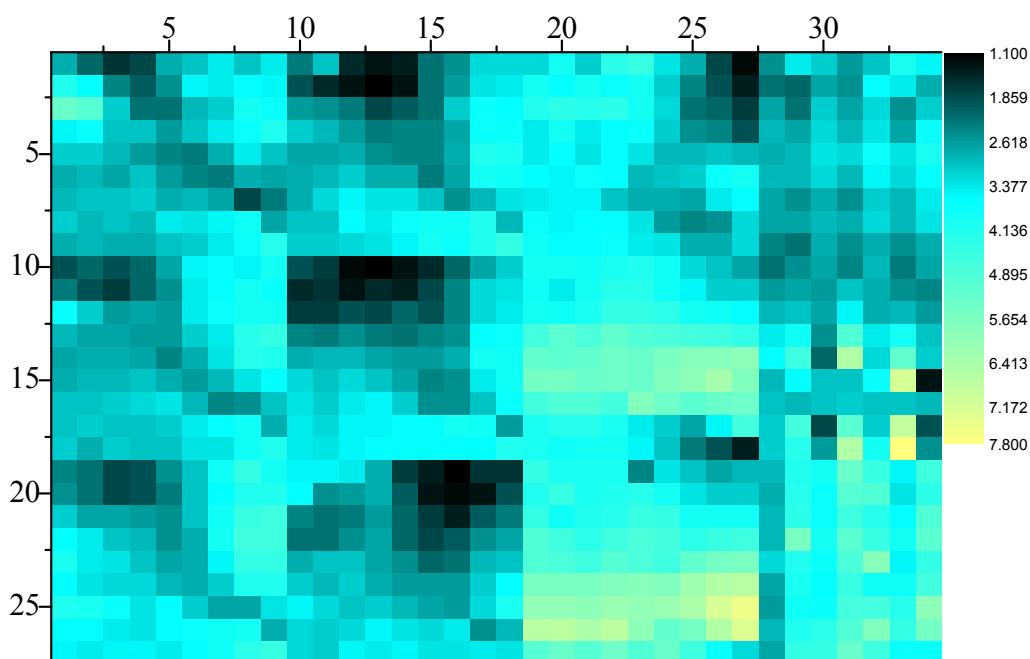
**Obr. 99** Mapa barevné odchylky vzorku č.13 po 640 dnech expozice

#### 5.2.4.4 Vzorek č.14 zhotovený na zařízení Pictrography na materiál Fujifilm Pictropaper



**Obr. 100** Úbytek objemu gamutu u vzorku č.14 v závislosti na osvitu

Maximální úbytek objemu normalizovaného gamutu po 640 dnech expozice dosáhl hodnoty 11 %. Nejvyšší vypočtená barvová odchylka nabývala 7,8. Největší četnost mají střední hodnoty barvových odchylek, nejmenší hodnoty jsou v oblasti purpurových odstínů, a také purpurových odstínů s přechodem do modré. Nejvyšší hodnoty barvových odchylek jsou z části nahodile rozmístěny, většinou se však jedná o světle azurové odstíny s přechodem do světlé purpurové. Podle hodnocení barvových odchylek (Tabulka 12) je barevný rozdíl mezi tímto vzorkem a referencí patrný i bez jejich přímého porovnání.

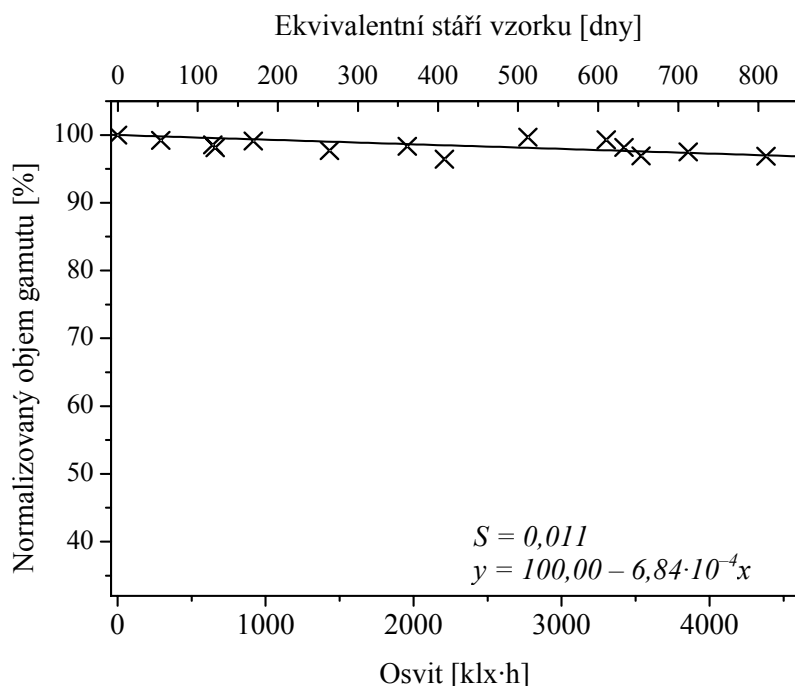


**Obr. 101** Mapa barevné odchylky vzorku č.14



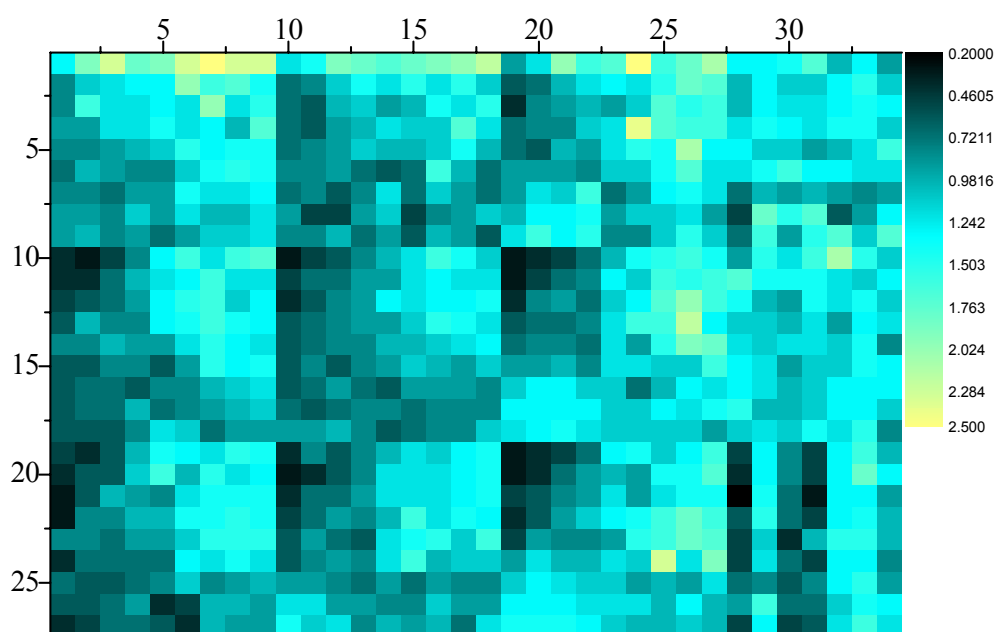
## 5.2.5 Speciální procesy

### 5.2.5.1 Vzorek č. 15 zhotovený speciální zobrazovací metodou Quadrichromií na hlazený bezdřevý papír kartonového typu



**Obr. 102** Úbytek objemu gamutu u vzorku č.15 v závislosti na osvitu

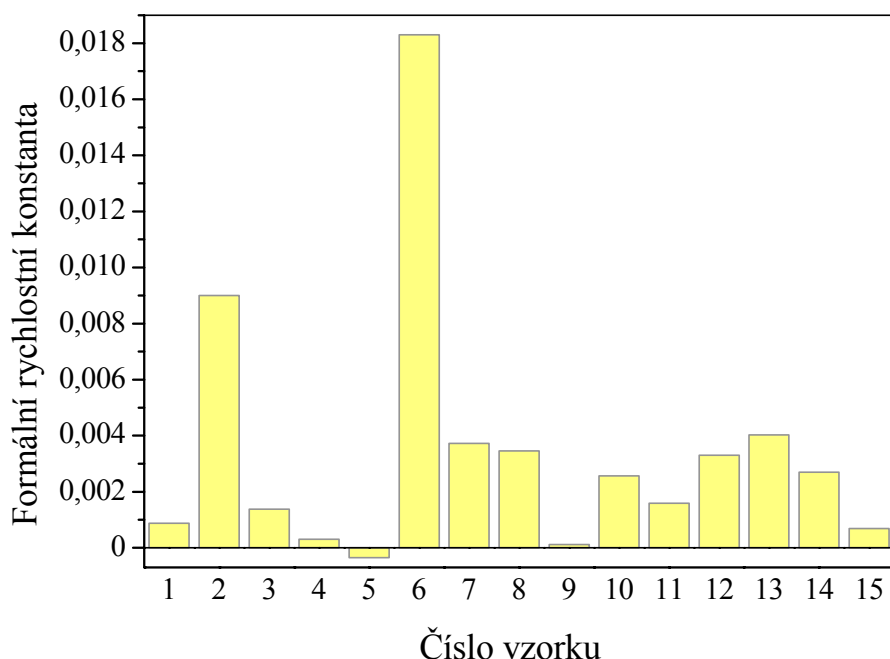
Celkový úbytek objemu gamutu tohoto vzorku vyrobeného speciální zobrazovací metodou Quadrichromií činí 3 %. Maximální dosažená barvová odchylka je 2,5. Minimální hodnoty odchylek se nacházejí v odstínech dolní části osy nepestrosti, hlavně v zelených a modrých odstínech. Nejvyšší hodnoty barvové odchylky jsou nahodile rozmístěny po purpurových, oranžových a červených odstínech s různými hodnotami jasu. Rozdíl  $\Delta E$  je patrný jen při přímém porovnání vzorku a reference. (Tabulka 12)



**Obr. 103** Mapa barevné odchylky vzorku č.15 po 640 dnech expozice

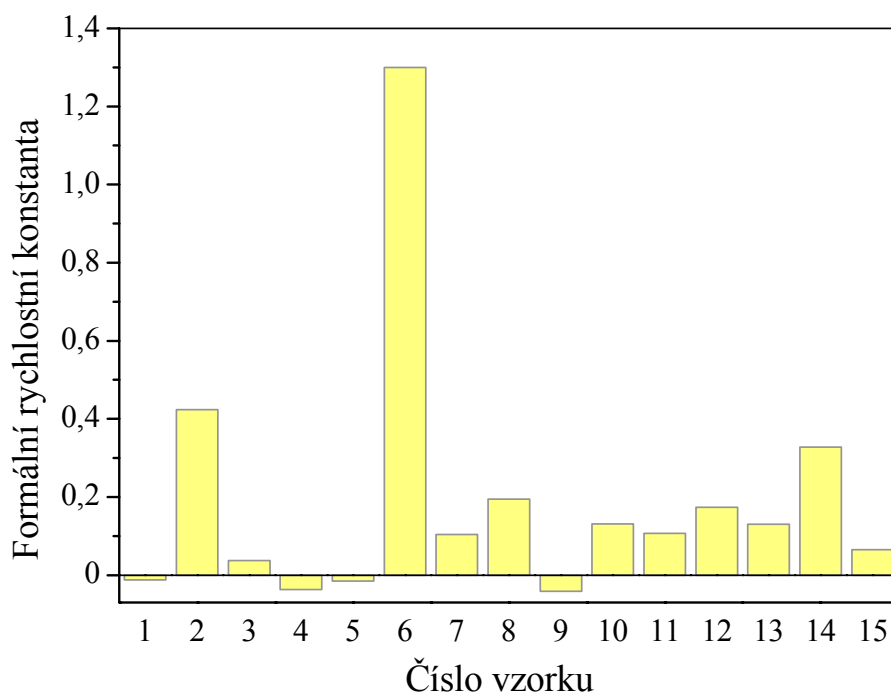
### 5.3 Porovnání a zhodnocení rychlostních konstant změn objemů gamutů

Rychlostní konstanty změny objemu gamutu získané z rovnice regrese pro každý vzorek z dlouhodobého i urychleného testu byly porovnány (Obr. 104 ,Obr. 105 ).



**Obr. 104** Srovnání rychlostních konstant pro vzorky dlouhodobého testu světlostálosti

Největší hodnota rychlostní konstanty byla u vzorku č. 6 vyrobeného na tiskárně HP, tento vzorek dosáhl 30% úbytku v dlouhodobém testu světlostálosti za 309 dnů expozice na chodbě. Druhá nevyšší hodnota rychlostní konstanty změny objemu gamutu byla u vzorku č.2 vyrobeném na inkjetové tiskárně Epson R220. Tento výtisk dosáhl 30% úbytku objemu normalizovaného gamutu za 445 dnů expozice na chodbě. Nejmenší hodnotu rychlostní konstanty změny objemu gamutu, zápornou, má vzorek č.5 vytištěný na zařízení Noritsu Drylab. Objem normalizovaného gamutu u tohoto vzorku v průběhu celého dlouhodobého testu fluktoval mezi 99–102 %.



**Obr. 105** Srovnání rychlostních konstant pro vzorky urychleného testu světlostálosti

Nejrychlejší úbytek objemu normalizovaného gamutu a tedy i nejvyšší hodnota rychlostní konstanty změny objemu gamutu, stejně jako u dlouhodobého testu, patří vzorku č. 6 vyrobeného na tiskárně Hewlett Packard. U tohoto vzorku došlo k 30 % úbytku objemu normalizovaného gamutu při osvitu 2240 klx·h, přepočtem na standardní průměrný den (450 lx/ 12 hod) k této degradaci došlo za 415 dní. Druhou nejvyšší hodnotu rychlostní konstanty, stejně jako u dlouhodobého testu, má vzorek č. 2. U tohoto vzorku však v průběhu urychleného testu světlostálosti nedošlo k 30 % úbytku objemu gamutu. Nejmenší, záporná hodnota rychlostní konstanty změny objemu gamutu přísluší vzorku č. 9. Hodnoty normalizovaného objemu gamutu v průběhu testu u tohoto vzorku fluktovaly mezi 100–101 %. Ke zvětšení objemu gamutu mohlo dojít změnou lesku, ten totiž ovlivňuje naměřené hodnoty sytosti.

### 5.3.1 Reciprocita

Pro lepší ilustraci výsledků byly pomocí rychlostních konstant změn objemů gamutů vypočteny časy, v letech, kdy by u vzorků došlo k 30 % úbytku objemu normalizovaného objemu gamutu (Tabulka 14).

Při porovnání předpovídané doby k úbytku 30 % objemu normalizovaného gamutu je největší rozdíl u vzorku č. 3. Podle rychlostní konstanty z urychleného testu by měla tato doba být 21 let, podle výsledků z dlouhodobého testu je to však jen 6 let. Na těchto výsledcích lze dobře ilustrovat selhání recipročního zákona. Změny způsobené dlouhým expozičním časem a nízkou intenzitou osvětlení by měly být stejné, jako změny vyvolané krátkým expozičním časem a vysokou intenzitou. Extrémně rozdílné jsou výsledky u vzorku č. 9. Podle výpočtů z dlouhodobého testu světlostálosti je předpokládaná doba 30 % úbytku 70 let, z výsledku urychleného testu plyne, že k žádnému úbytku nedochází. Naopak gamut se nepatrně zvětšuje, to je pravděpodobně způsobeno přeuspořádáním pigmentových částic a změnou lesku. Změna

lesku výrazně ovlivňuje naměřené hodnoty sytostí odstínů. Tento materiál je nejvíce stálý z celého souboru vzorků.

**Tabulka 14** Porovnání rychlostních konstant a výpočet času potřebného k vyblednutí 30% objemu normalizovaného gamutu

Vzorek č.	Dlouhodobý test		Urychlený test	
	Rychlostní konstanty změny gamutu	Doba do 30% úbytku objemu gamutu [roky]	Rychlostní konstanty změny gamutů	Doba do 30% úbytku objemu gamutu [roky]
1	$8,79 \cdot 10^{-4}$	9,1	$-1,24 \cdot 10^{-4}$	–
2	$9,00 \cdot 10^{-3}$	0,9	$4,24 \cdot 10^{-3}$	1,9
3	$1,38 \cdot 10^{-3}$	6,8	$3,57 \cdot 10^{-4}$	22
4	$-3,06 \cdot 10^{-4}$	–	$-3,65 \cdot 10^{-4}$	–
5	$-3,55 \cdot 10^{-4}$	–	$-1,49 \cdot 10^{-4}$	–
6	$1,83 \cdot 10^{-2}$	0,5	$1,30 \cdot 10^{-2}$	0,6
7	$3,72 \cdot 10^{-3}$	2,1	$1,04 \cdot 10^{-3}$	7,7
8	$3,46 \cdot 10^{-3}$	2,5	$1,95 \cdot 10^{-3}$	4,1
9	$1,14 \cdot 10^{-4}$	70	$-4,14 \cdot 10^{-4}$	–
10	$2,57 \cdot 10^{-3}$	3,1	$1,31 \cdot 10^{-3}$	6,1
11	$1,59 \cdot 10^{-3}$	5,0	$1,07 \cdot 10^{-3}$	7,5
12	$3,30 \cdot 10^{-3}$	2,5	$1,74 \cdot 10^{-3}$	4,5
13	$4,03 \cdot 10^{-3}$	1,9	$1,30 \cdot 10^{-3}$	6,1
14	$2,70 \cdot 10^{-3}$	3,0	$3,28 \cdot 10^{-3}$	2,5
15	$6,84 \cdot 10^{-4}$	12	$6,54 \cdot 10^{-4}$	12

U vzorku č. 6 došlo k 30 % úbytku normalizovaného objemu gamutu, podle výpočtu z chodbové expozice za 183 dní, ve skutečnosti byl tento úbytek naměřen za 309 dní. Tento rozdíl je patrně způsoben neuniformním úbytkem objemu gamutu.

Při porovnání výpočtu z nepravé rychlostní konstanty dlouhodobého testu vzorku č. 2 plyne, že k úbytku by mělo dojít po roce expozice, podle testu urychleného stárnutí by tato změna měla nastat po dvou letech. Ve skutečnosti byl však čas potřebný k danému vyblednutí 445 dní.

Jako poslední příklad nedokonalosti předpovídání životnosti je vzorek č. 13, podle výpočtů z rychlostních konstant by mělo k 30 % úbytku objemu gamutu dojít za 2 roky a podle výsledků urychleného testu za 6 let. Po dobu trvání testu (640 dní) došlo k 15 % úbytku objemu. Není zcela reálné, aby za tři měsíce expozice došlo ke stejnému úbytku.

Z těchto výpočtů a srovnání plyne, že by se s předpovídanou životností mělo nakládat opatrně.

## 6 ZÁVĚR

Byl proveden dlouhodobý test světlostálosti barevných fotografií a tisků, který trval 640 dní. Soubor vzorků byl vystaven na slunečné chodbě. Testovací škály byly pravidelně měřeny pomocí spektrofotometru Gretag MacBeth Spektrolino a byly zaznamenávány reflektanční spektra, ze kterých byly vypočteny CIE  $L^*a^*b^*$  hodnoty. Tyto byly dále vyhodnocovány a z nich získány barvové odchylky  $\Delta E$ . Z těchto hodnot byly vytvořeny pro každý vzorek mapy barvových odchylek, ze kterých lze vyčíst které odstíny se nejvíce měnily. Vzorky byly navzájem porovnány podle orientačních diferencí v termínech barevného vnímání (Tabulka 12). U všech vzorků byla sledována změna objemu barvového gamutu. Ze statistického vyhodnocení byly získány nepravé rychlostní konstanty této změny. Pomocí těchto konstant byla vypočtena doba potřebná ke 30 % úbytku objemu barvového gamutu. Také byla diskutována vhodnost proložení hodnot lineární regresí.

Na základě těchto výsledků lze říci, že největší úbytek objemu barvového gamutu byl u vzorku č. 6, zhotoveném na tiskárně HP s barvivovou sadou HP. Druhé největší změny byly zaznamenány u vzorku č. 2, zhotoveném na tiskárně Epson Stylus R220 s barvivou sadou inkoustů MIS Dye. Nejmenší úbytek objemu hodnoty barvového gamutu byl u vzorku č. 9, zhotoveném na zařízení Noristu DryLab. U vzorku č. 5 byla hodnota nepravé rychlostní konstanty kladná.

Byl proveden urychlený test světlostálosti barevných fotografií a tisků. Vzorky byly exponovány v testovací xenonové komoře 50 hodin. Naměřené hodnoty byly pro všechny vzorky zpracovány stejně jako u dlouhodobého testu.

Na základě výsledků urychleného testu lze říci, že největší úbytek objemu barvového gamutu byl stejně jako u dlouhodobého testu u vzorku č. 6, zhotoveném na zařízení HP s barvivovou inkoustovou sadou HP. Druhý největší úbytek objemu barvového gamutu měl vzorek č. 2, zhotovený na kancelářské tiskárně Epson R220 s barvivovými inkousty MIS Dye. Nejmenší úbytek objemu barvového gamutu byl u vzorku č. 3, zhotoveného na tiskárně Epson 9600 pigmentovou sadou Ultrachrome. U urychleného testu bylo více vzorků, u kterých nepravé rychlostní konstanty nabývají kladných hodnot.

## 7 LITERATURA A ZDROJE

- <sup>1</sup> Hunt, R.W.G.; *The reproduction of colour*, 5<sup>th</sup> edition; 814s. Regent. UK 1995; ISBN 0-86343-381-2
- <sup>2</sup> Ryer A.D.; *Light Measurement Handbook*, 2. vydání; Newburyport, USA, 1998, p 64 ISBN 0-96583-9-3
- <sup>3</sup> Frasn B., Murphy C.; *Správa barev*. 1.vyání; Brno: Computer Press, 2003, 521s ISBN 80-722-6943-7
- <sup>4</sup> Zmeškal O., Čeppan M., Dzik P.; *Barevné prostory a správa barev*. VUT v Brně, Chemická fakulta, Ústav fyzikální a spotřební chemie, 2002
- <sup>5</sup> [http://www.printing.cz/art/colormanagement/barvy\\_a\\_modely.html](http://www.printing.cz/art/colormanagement/barvy_a_modely.html) [cit. 9.3.2010]
- <sup>6</sup> Panák, J., Čeppan, M., Dvonka, V. a kol.: *Polygrafické minimum*. 1. vydání, Bratislava: Typoset, 2000. 256 s. ISBN 80-967811-2-X
- <sup>7</sup> Veselý, M., Králová, I., Dzik, P., Zita, J.: *Vnímaní barev a jejich měření*. VUT v Brně, Chemická fakulta, Ústav fyzikální a spotřební chemie
- <sup>8</sup> [http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn\\_DeltaE\\_CIE2000.html](http://www.brucelindbloom.com/index.html?Eqn_DeltaE_CIE2000.html) [cit. 17.3.2010]
- <sup>9</sup> Oldfield David J.: Assessment of the Current Light-Fade End-Point metrics Used in the Determination of Print Life: Part II; *IS&T's 2004 Archiving conference*, p 36-42, Texas 2004. ISBN 0-89208-251-8
- <sup>10</sup> ASTM International Standard Practice for Determining Relative Lightfastness of Ink Jet Prints Exposed to Windows Filtered Daylight Using a Xenon Arc Light Apparatus; Designation: F 2366 – 05; 2008 USA
- <sup>11</sup> ISO 18909 *Photography – Processed photographic colour films and paper prints and paper prints – Methods for measuring image stability*, 2006, Švýcarsko
- <sup>12</sup> <http://www.epson.com/cgi-bin/Store/Landing/PrintPermanence.jsp> [cit. 28.3.2010]
- <sup>13</sup> ISO 12040 *Graphic Technology – Prints and printing inks – Assessment of light fastness using filtered xenon arc light*; 1997, Švýcarsko
- <sup>14</sup> EN 61610 Elektronické transparentní a netransparentní obrazy, Hodnocení kvality obrazu; Český normalizační institut, Praha, 1997, 32s
- <sup>15</sup> Wilhelm Henry, WIR Inc.; How long will they last? An overview of the light- fading stability of inkjet prints and traditional color photographs; *IS&T's 12th International symposium on photofinishing technology*, 2002, s. 32-37. ISBN / ISSN: 0-89208-237-2
- <sup>16</sup> Print Permanence Ratings for Canson Infinity Papers and Canvas with Epson, Canon, and HP Pigment Inks; [www.wilhelm-research.com](http://www.wilhelm-research.com) [cit. 28.3.2010]
- <sup>17</sup> Wilhelm H., Armah K., Shklyarov D.; Improved test methods for evaluating the permanence of digitally printed photographs; *Imaging Conference Japan 2009*; <http://www.wilhelm-research.com> [cit 9.3.2010]
- <sup>18</sup> McCormick-Goodhart M., Wilhelm H.; *A New Test Method Based on CIELAB Colorimetry for Evaluating the Permanence of Pictorial Images*; 2003; <http://www.wilhelm-research.com> [cit. 27.3.2010]
- <sup>19</sup> McCormick-Goodhart M., Wilhelm H.: Progress Towards a New Test Method Based on CIELAB Colorimetry for Evaluating the Image Stability of Photographs. *Proceedings of*

- 
- IS&T's 13th International Symposium on Photofinishing Technologies*, pp. 25–30. Las Vegas 2004. ISBN 0-89208-249-6.
- <sup>20</sup> Wilhelm H. et al.; *Progress Towards a NEW Test Method Based on CIELAB Colorimetry for Evaluating the Image Stability of Photographs*; <http://www.wilhelm-research.com> [cit. 9.3.2010]
- <sup>21</sup> Oldfield D.J., Pino G; Assessment of the Current Ligh.Fade Endpoint Metrics Used in the Determination of Print Life – Part II; *IS&T's Archiving Conference*, p. 36-42, 2004. ISBN 0-89208-251-8
- <sup>22</sup> Shibahara Yoshihiko, Makoto Machina: Endpoint Criteria for Print Life Estimation; *IS&T's NIP20 International Conference on Digital Printing Technologies*, p. 673-679, Salt Lake City 2004. ISBN 0-89208-253-4
- <sup>23</sup> Kipphan, H.: *Handbook of Print Media*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2001. ISBN 3-540-67326-1
- <sup>24</sup> Oldfield D.J., Pino G; Assessment of the Current Ligh.Fade Endpoint Metrics Used in the Determination of Print Life – Part I; *Journal of Imaging and science*, Vol. 48, No. 6,11/12 2004, New York USA
- <sup>25</sup> Dzik P. - Veselý M.; *Inkoustový tisk – současný stav, možnosti a trendy. Sborník přednášek VII. Polygrafického semináře*. Pardubice: Univerzita Pardubice 2005, str. 80-87, ISBN 80-7194-793-8
- <sup>26</sup> Junge K.W. – Hübner G.; *Fotografická chemie*. 1 vyd. *Praha: SNTL*. 1987, 312s
- <sup>27</sup> <http://www.atelier-fresson.com/technics.htm> [cit. 19.2. 2010]
- <sup>28</sup> Panák, J., Čeppan, M., Dvonka, et al.: *Polygrafické minimum*. 1. vydání, Bratislava: TypoSet, 2000. 256 s. ISBN 80-967811-2-X

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	wolframová žárovka
A	absorbance
A	sférický povrch
$a^*, b^*$	souřadnice chromatické roviny barvového prostoru 1979 CIE $L^* a^* b^*$
ASTM	American Society for Testing and Materials
B	modrá barva, světlo
C	azurové barvivo, světlo, inkoust
C	sytost
$c$	rychlost světla
$c$	koncentrace
$C^*$	odstín
$C^*_{ab}$	měrná čistota barevného tónu CIE 1976
CIE	Commision Internationale de l'Éclairage (Medzinárodní komise pro osvětlení)
CMS	Color management system, systém správy barev
ČB	černobílé
$d$	poloměr
$D$	optická hustota
$D_N$	optická hustota neutrálního pole
$D_C, D_Y, D_M$	optická hustota azurového, žlutého, purpurového pole
D50	denné světlo s teplotou chromatičnosti 5000 K
D65	denní světlo s teplotou chromatičnosti 6500 K
$E$	intenzita osvětlení
$\varepsilon$	absorbční koeficient
$\Delta E, \Delta E^*_{ab}$	rozdíl barev
$\Delta E_{2000}$	barvová odchylka
$\Delta E_{CMC}$	barvová odchylka
F	fluorescenční zdroje
G	zelená barva, světlo
$H$	osvit
$H$	odstín
$H$	Planckova konstanta
$h^*_{ab}$	měrný úhel barevného tónu CIE 1976
HP	Hewlett Packard
$I_0$	intenzita světla dopadajícího na vzorek
$I_r$	intenzita odraženého světla
$I^*_{color}$	barevná informace ve snímku
$I^*_{BW}$	informace o odstínech z osy nepestrosti
ID65	indoor daylight
IČ	infračervené
ICC	International Color Consortium
ISO	International Organization for Standardization
K	černé barvivo, inkoust
K	normalizační konstanta
$\lambda$	vlnová délka



$l$	tloušťka vrstvy
$L$	jas
$L^*$	měrná světlost
M	purpurový inkoust, barvivo, světlo
NS	nespecifikováno
$\Omega$	prostorový úhel
P-3	vybělovací proces výroby barevných fotografií
Q	energie fotonu
$R$	reflektance
R	červená barva, světlo
$r$	poloměr koule
$R(\lambda)$	spektrální reflektance
RA-4	proces výroby barevných fotografií
S	míra vhodnosti proložení přímkou
$T$	transmitance
UV	ultrafialové
UV-A	oblast spektra od 315–400 nm
UV-B	oblast spektra od 280–315 nm
UV-C	oblast spektra s vlnovou délkou nižší než 280 nm
$\nu_t$	frekvence v čase $t$
WIR	Wilhelm Imaging Research
$X, Y, Z$	trichromatické složky červené, zelené a modré
$x, y, z$	trichromatické souřadnice červené, zelené a modré
$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$	trichromatické členitele pro červené, zelené a modré barvy
$\bar{x}_{10}, \bar{y}_{10}, \bar{z}_{10}$	trichromatické členitele pro červenou, zelenou a modrou barvu pro 10° standardního pozorovatele
xyY	barvový prostor CIE 1931 x,y
$y$	koeficient intenzity osvětlení na 1 kHz
$\bar{y}$	průměrná měsíční hodnota koeficientu intenzity osvětlení na 1 kHz
$y_j$	koeficient intenzity osvětlení na 1 kHz pre rám
Y	žlutý inkoust, barvivo, světlo
$\Phi^0(\lambda)$	spektrální distribuce osvětlení
VIS	viditelné světlo